



PROJETO DE GRADUAÇÃO

APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE DE INDÚSTRIA 4.0 EM UMA FABRICANTE DE BEBIDAS E A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE ARMAZENAGEM COMO PARTE DE SUA ESTRATÉGIA DIGITAL

Por,

Rafaela de Faria Dantas

Brasília, junho de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

APLICAÇÃO DO MODELO DE MATURIDADE DE INDÚSTRIA 4.0 EM UMA FABRICANTE DE BEBIDAS E A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE GESTÃO DE ARMAZENAGEM COMO PARTE DE SUA ESTRATÉGIA DIGITAL

POR,

Rafaela de Faria Dantas

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sanderson César Macêdo Barbalho

Prof. Dr. Sérgio Ronaldo Granemann

Msc. Sérgio Knorr Velho

Brasília, junho de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à Deus, por ter me dado sabedoria e me guiado aos melhores caminhos. Aos meus pais (Eulírio e Cristina) e meu irmão (André), que são meus exemplos de vida e me acompanharam durante essa jornada, sempre me incentivando a buscar meus sonhos e sendo meu alicerce em todos os momentos.

Às minhas avós (Altiva e Joanita) e em memória dos meus avôs (Altamiro e Francisco), que desde cedo me ensinaram a importância do esforço e determinação. Vocês são meu referencial. À minha família, em especial, à minha madrinha Lourdes, meu maior exemplo de humildade e bondade.

Aos meus amigos da graduação (Alexandre J., Bárbara C., Deborah S., Fábio H., Fernanda R., Gabriela L., Júlia K., Juliana G., Lívia V., Luiza B., Marcos G., Mateus V., Vinícius D.) pela amizade, por todos os grupos de estudo e por todos momentos vividos. Vocês foram fundamentais. Agradeço imensamente ao Grupo Gestão, empresa júnior responsável por todo meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus chefes e amigos do trabalho (Bruno F., César H. e Júlia D.) pelo companheirismo, amizade e paciência. A minha primeira experiência profissional foi inesquecível graças a vocês, obrigada por terem me ensinado tanto.

Ao meu orientador Prof. Sanderson, por ter me dado a oportunidade de desenvolvimento profissional como monitora acadêmica desde o início da graduação e que foi essencial no meu processo de formação.

Um agradecimento especial à Prof. Márcia, atual coordenadora do curso de Engenharia de Produção, por todo auxílio no meu processo de aplicação de mestrado.

Agradeço a todo corpo docente do curso de Engenharia de Produção, pelos ensinamentos e à Universidade de Brasília, por ser um lugar extraordinário que mudou a minha perspectiva de vida.

Rafaela de Faria Dantas.

RESUMO

A Indústria 4.0 tem como principal objetivo transformar a empresa em uma organização ágil e capaz de se adaptar continuamente à dinamicidade do mercado. Para isso, ela precisa ter conhecimento do seu nível atual de maturidade em relação à Indústria 4.0 e traçar estratégias digitais para alcançar um maior nível de maturidade. O presente estudo é uma pesquisa-ação que visa identificar na literatura científica os principais modelos de maturidade em Indústria 4.0. Ademais, pretende-se avaliar o estágio atual de uma fabricante de bebidas, por meio do emprego do melhor modelo, e analisar a implementação de um sistema de gestão de armazenagem, como parte da estratégia digital da empresa para alcançar um estágio de maturidade mais elevado. A condução da pesquisa-ação revelou o estágio atual da companhia e como o sistema de gestão de armazenagem contribuiu para o seu processo de transformação digital.

Palavras-chave: Indústria 4.0; modelo de maturidade em indústria 4.0; logística; sistema de gestão de armazenagem.

ABSTRACT

The Industry 4.0 has as a main purpose to turn the company into an agile organization, able to adapt continuously to the dynamicity of the market. Thus, to reach this target, the business should be aware of its current level of maturity in Industry 4.0 and it needs to establish digital strategies to reach a higher level. The present study, therefore, is an action research that aims to identify in the scientific literature the main models of maturity in Industry 4.0. In addition, it intends to evaluate the current stage of maturity of a beverage manufacturer and analyze the implementation of a warehouse management system as part of the company's digital strategy to reach a higher maturity stage. Conducting the action research revealed the company's current maturity and identified how the storage management system contributed to its digital transformation process.

Keywords: Industry 4.0; Industry 4.0 maturity index; industry 4.0 maturity model; industry 4.0 readiness; logistics, warehouse management system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento metodológico da pesquisa-ação	14
Figura 2 - Estrutura da fundamentação teórica	15
Figura 3 - Estrutura da pesquisa-ação	15
Figura 4 - Ondas de inovação da primeira à próxima Revolução Industrial	20
Figura 5 - Progresso das Revoluções Industriais	22
Figura 6 - Da produção manual à produção personalizada em massa	24
Figura 7 - 5C arquitetura para implementação de um sistema <i>cyber</i> -físico	26
Figura 8 - Estágios da Indústria 4.0.....	30
Figura 9 - Estrutura do modelo de maturidade em Indústria 4.0 da Acatech	32
Figura 10 - Princípios e capacidades referentes a área estrutural de Recursos	33
Figura 11 - Gráfico de radar elucidando as 9 dimensões propostas	35
Figura 12 - Dimensões e campos associados da Indústria 4.0	36
Figura 13 - Dimensões e respectivas sub dimensões	40
Figura 14 - Investimento mundial em IoT em bilhões de dólares	46
Figura 15 – Futuras transformações na cadeia de suprimentos logística	47
Figura 16 - Árvore AHP	51
Figura 17 - Resultado geral da maturidade da empresa por dimensão.....	57
Figura 18 - Resultado da dimensão de Produtos e Serviços.....	58
Figura 19 – Resultado da dimensão de Fábrica e Operações	58
Figura 20 - Resultados da dimensão de Estratégia e Organização	60
Figura 21 - Resultado da dimensão de Cadeia de Suprimentos	60
Figura 22 - Resultado da dimensão de Modelo de Negócios	61
Figura 23 - Resultado da dimensão de Considerações Legais	62
Figura 24 - Estrutura de armazenagem <i>drive-in</i>	64
Figura 25 – Processo de armazenagem de produtos terceiros (sem sistema)	66
Figura 26 - Processo de programação de armazenagem	68
Figura 27 - Processo de armazenagem (com sistema).....	69
Figura 28 - Requisitos para funcionamento do sistema	70
Figura 29 - Processo de entrada de dados no coletor.....	71
Figura 30 - Processo de registro do palete	71
Figura 31 - Processo de saída do palete.....	72
Figura 32 - Implementação dos coletores na operação	72
Figura 33 - <i>Layout</i> do estoque e detalhamento das armazenagens no endereço selecionado	73
Figura 34 - Inconsistências encontradas ao longo da fase de testes	77
Figura 35 - Acuracidade do sistema em relação ao chão de fábrica.....	78
Figura 36 - Dimensão de Cadeia de Suprimentos após o sistema.....	79
Figura 37 - Dimensão de Modelo de Negócio após o sistema	80
Figura 38 - Resultado geral de maturidade da empresa após o sistema	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - A escala de fundamentos para comparação par a par.....	16
Tabela 2 - índice médio de consistência randômica.....	17
Tabela 3: Exemplo de questão para medir a maturidade do item	35
Tabela 4 - Exemplo 1 de pergunta avaliada pelo questionário.....	39
Tabela 5 - Exemplo 2 de pergunta avaliada pelo questionário.....	39
Tabela 6 - Exemplo de questão para medir a maturidade da dimensão “Produtos e Serviços”	43
Tabela 7 - Modelo de maturidade em Indústria 4.0 proposto	44
Tabela 8 - Matriz de julgamentos	51
Tabela 9 - Cálculo do auto vetor e normalização	52
Tabela 10 - Matriz pareada das alternativas com o critério 1	53
Tabela 11 - Matriz pareada das alternativas com o critério 2	53
Tabela 12 - Matriz pareada das alternativas com o critério 3.....	53
Tabela 13 - Matriz pareada das alternativas com o critério 4	54
Tabela 14 - Matriz pareada das alternativas com o critério 5.....	54
Tabela 15 - Matriz de decisão	55
Tabela 16 - Resultado da implementação do sistema de gestão de armazenagem ..	75
Tabela 17 - Resultado das dimensões (antes x depois).....	81

LISTA DE SIGLAS

Siglas

AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
CPS	<i>Sistemas Cyber-Físicos</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FEFO	<i>First Expire First Out</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine Communication</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
T.I	<i>Tecnologia da Informação</i>
WCS	<i>Warehouse Control System</i>
WMS	<i>Warehouse Management System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Estrutura do Trabalho	12
2 METODOLOGIA	13
2.1 Classificação da pesquisa	13
2.2 Procedimento metodológico	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 Contexto histórico da inovação tecnológica	19
3.2 Revoluções Industriais e as ondas de inovação	21
3.3 Indústria 4.0	23
3.3.1 Origem da Indústria 4.0	23
3.3.2 Princípios da Indústria 4.0	25
3.4 Modelos de Maturidade em Indústria 4.0.....	29
2.5 Indústria 4.0: implicações na gestão logística.....	45
4 PESQUISA-AÇÃO	49
4.1 Contextualização da empresa	49
4.2 Critérios para escolha do modelo de maturidade.....	50
4.3 Aplicação do modelo escolhido	56
4.4 Processo de implementação do sistema de gestão do estoque	63
4.5 Nível de maturidade esperado.....	78
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXO I – QUESTIONÁRIO (AGCA, O. et al., 2017)	91

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, fatores como a emergência de novas tecnologias, a crescente concorrência internacional, transformações nos hábitos de compras dos consumidores, demandas mais complexas e a redução dos ciclos de vida dos produtos elevaram significativamente a complexidade da indústria manufatureira (SEIDELMANN, 2018; TALIAFERRO *et al.*, 2016, p. 7). A digitalização juntamente com a interconectividade e as novas tecnologias estão impulsionando uma transformação nunca antes vista na indústria (SCHUH *et al.*, 2017, p. 5). Este fenômeno refere-se à Indústria 4.0.

Diante desta nova revolução industrial já em andamento, as companhias precisam desenvolver uma visão abrangente de como irão administrar seus negócios, de modo a se manterem competitivas no mercado e identificar oportunidades e desafios provocados pela Indústria 4.0 (CAPGEMINI, 2014, p. 4).

A necessidade de se adaptar às novas realidades impostas pelo ambiente competitivo exige que as empresas desenvolvam uma capacidade cada vez maior de planejar e gerenciar suas operações (AZANHA *et al.*, 2015, p. 723). Dessa forma, é necessário que elas compreendam o nível atual de maturidade que se encontram em relação a Indústria 4.0 e que sejam identificadas medidas concretas para ajudá-las a atingir um estágio maior de maturidade, de modo que possam se tornar empresas ágeis e de aprendizagem (SCHUH *et al.*, 2017, pp. 12-13).

A logística, área de aplicação deste projeto, passou a desempenhar um papel crítico na diferenciação competitiva das empresas desde o final do século XX, uma vez que a sua importância estratégica está relacionada principalmente à capacidade de reduzir custos, melhorar os níveis de serviço ao cliente e agregar valor à empresa (BALLOU, 2004, p. 43).

Segundo Hofmann e Rüsch (2017, p. 25) a Indústria 4.0 afetará dois aspectos principais na cadeia de suprimentos. O primeiro está relacionado à dimensão física, por meio do emprego de robôs de coleta na movimentação dentro do estoque, uso de

carros autônomos no transporte e a aplicação da tecnologia *blockchain* no processamento de pedidos. O segundo ponto compreende a dimensão digital da cadeia de suprimentos com a coleta de dados do maquinário por meio de sensores (IoT) e transmissão desses dados a uma camada de conectividade ou nuvem.

O presente trabalho enquadra-se neste segundo conceito, visto que explora o desenvolvimento e a implementação de um sistema de gestão de armazenagem em uma fabricante de bebidas. Esta melhoria tem como objetivo prover rastreabilidade aos produtos, identificando a sua localização exata dentro do estoque, além de conceder inteligência ao processo de armazenagem. Ademais, busca identificar o nível de maturidade da companhia antes e após o processo, uma vez que a implementação do sistema faz parte de uma das estratégias digitais da empresa para o aumento da sua maturidade em Indústria 4.0.

Dessa forma, o projeto busca responder duas perguntas: como pode ser realizada a mensuração da maturidade em Indústria 4.0 de uma empresa? Como a implementação de um sistema de gestão de armazenagem contribui para o aumento do nível de maturidade em uma fabricante de bebidas?

Portanto, este estudo pretende colaborar para o entendimento do conceito de Indústria 4.0 e dos modelos de maturidade existentes. Além disso, visa descrever o processo de aplicação de um sistema de armazenagem em uma fabricante de bebidas. Ao final são apresentados os resultados obtidos, bem como o estágio de maturidade atingido pela empresa após a implantação do sistema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o estágio atual de maturidade em Indústria 4.0 de uma fabricante de bebidas e analisar a implementação de um sistema de gestão de armazenagem, como parte da estratégia digital da empresa para alcançar um estágio de maturidade mais elevado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar na literatura científica os principais modelos de maturidade em Indústria 4.0;

- Diagnosticar o estágio atual de maturidade com base no modelo escolhido;
- Analisar a implementação de um sistema de gestão de armazenagem como parte da estratégia digital da empresa para alcançar um nível maior de maturidade em Indústria 4.0, explorando os principais benefícios e resultados;
- Identificar o nível de maturidade da empresa após a implementação do sistema de gestão de armazenagem e extrair lições aprendidas.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro compreende a justificativa do projeto e seus respectivos objetivos gerais e específicos. O segundo capítulo diz respeito à metodologia utilizada para elaborar a pesquisa. Ela foi classificada em duas etapas, a primeira que diz respeito a classificação da pesquisa e a segunda, relacionada ao procedimento metodológico utilizado.

O terceiro capítulo apresenta a fundamentação teórica desenvolvida para compreender e desenvolver o trabalho. Nesta fase, são detalhados o contexto histórico da inovação tecnológica, o surgimento da Indústria 4.0, os pilares que a sustentam, os modelos de maturidades em Indústria 4.0 existentes, as implicações da Indústria 4.0 na logística e a contextualização dos conceitos de sistemas de gestão de armazenagem.

O capítulo seguinte apresenta como foi desenvolvida a pesquisa-ação. Nesta etapa, identificou-se o melhor modelo de maturidade em Indústria 4.0, baseado em critérios e levando em consideração o contexto da empresa. Em seguida, o modelo foi aplicado e identificou-se o nível atual de maturidade da empresa. Depois, foi detalhado o processo de implementação do sistema de gestão de armazenagem, seus benefícios e, por fim, o quanto esta estratégia digital adotada pela empresa contribuiu para o aumento de sua maturidade em Indústria 4.0.

O último capítulo expõe as ponderações finais, sugestões de trabalhos futuros e lições aprendidas.

2 METODOLOGIA

2.1 Classificação da pesquisa

De acordo Almeida (2011, p. 30), toda pesquisa para que seja classificada como científica, precisa adotar métodos durante a sua elaboração. Ainda segundo o autor, é necessário aplicar procedimentos padronizados e detalhados, de forma que, seguindo os mesmos passos, outras pessoas consigam replicar e aperfeiçoar a pesquisa.

Cauchick (2007, p. 18) sugere que devem ser avaliadas as diferentes estratégias de pesquisa, de modo a selecionar qual melhor se aplica aos objetivos propostos para serem gerados resultados mais robustos. Deve-se levar em conta três condições para escolher a melhor estratégia de pesquisa quando se realiza estudo de caso: o tipo de questão da pesquisa, o controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos e o foco em relação a fenômenos históricos em oposição a fenômenos contemporâneos (YIN, 2001, p. 19).

Silva e Menezes (2005, p. 20) e Almeida (2011, p. 20) apresentam as formas clássicas de classificação da pesquisa, são elas: a natureza da pesquisa, a forma de abordagem do problema, seus objetivos (Gil, 2002, p. 41) e procedimentos técnicos (GIL, 2002, p. 43).

A natureza da pesquisa do estudo em questão é a pesquisa científica aplicada (ALMEIDA, 2011, p. 21), uma vez que visa solucionar um problema de contexto industrial, a partir de conhecimentos já formulados.

De acordo Günther (2006, p. 206), os tipos de abordagem do problema de pesquisa não são mutuamente excludentes. À vista disso, o estudo é caracterizado como uma pesquisa descritiva, em que serão feitas análises quali-quantitativas do processo de implementação de um sistema de armazenagem.

O presente estudo tem caráter exploratório (ALMEIDA, 2011), uma vez que busca aplicar os conceitos de modelo de maturidade de Indústria 4.0 no contexto de um fabricante de bebidas. Além disso, pretende-se solucionar um problema específico a partir do levantamento de informações, aplicação de questionários e entrevistas com pessoas envolvidas no processo.

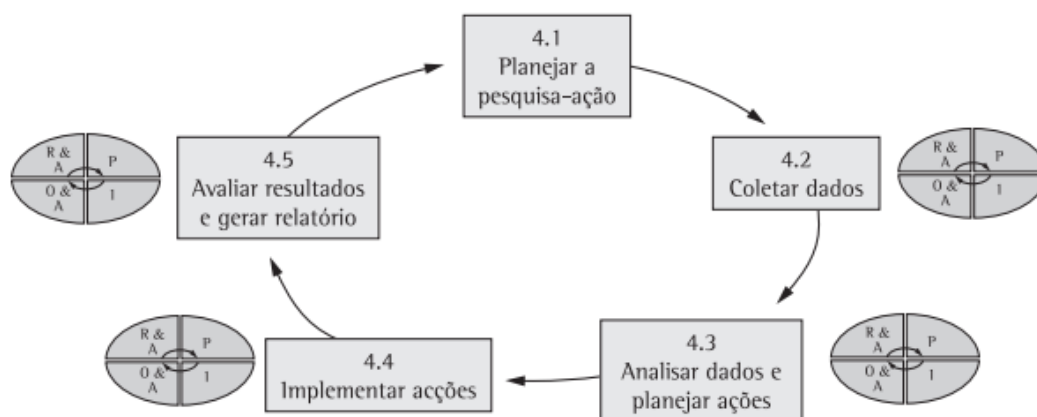
Pode-se caracterizar o presente estudo como uma pesquisa-ação (CAUCHICK, 2007; ALMEIDA, 2011), uma vez que serão investigados conceitos na literatura e haverá ação do pesquisador em um contexto industrial real. Uma pesquisa-ação pode ser motivada através da identificação de um problema na literatura e a procura de um objeto de estudo onde esse problema possa ser resolvido cientificamente (MELLO *et al.*, 2012, p. 4).

É válido ressaltar que este tipo de procedimento também é relevante do ponto de vista acadêmico, visto que o campo da Indústria 4.0 é um fenômeno recente que ainda não possui limites muito claros, nem estudos suficientemente padronizados e difundidos.

2.2 Procedimento metodológico

Com base na classificação da pesquisa descrita e a fim de alcançar os objetivos estabelecidos, utilizou-se o procedimento metodológico de como conduzir uma pesquisa-ação, proposto por Mello *et al.* (2012, p. 5) na Figura 1.

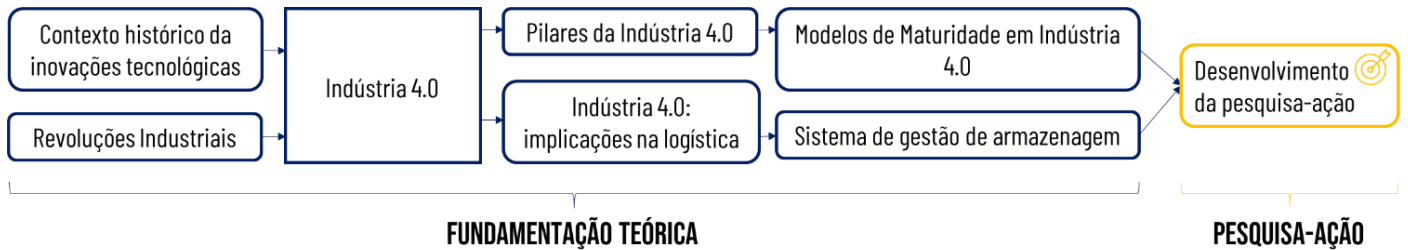
Figura 1 - Procedimento metodológico da pesquisa-ação



Fonte: Mello *et al.* (2012, p.5)

A primeira etapa do estudo consistiu no planejamento da pesquisa-ação. Identificou-se o problema de pesquisa, os seus limites de atuação e realizou-se o levantamento bibliográfico dos temas relacionados à Indústria 4.0. Com isso, foi possível definir os objetivos da pesquisa e os tópicos que compõe o esqueleto da fundamentação teórica discutida no próximo capítulo, conforme apresentado na Figura 2.

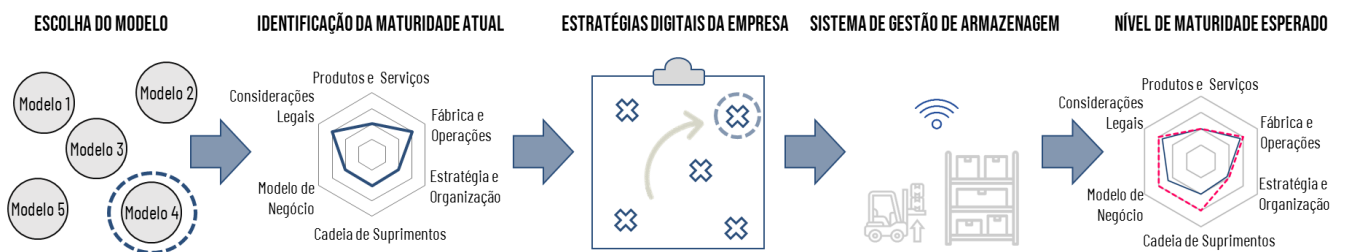
Figura 2 - Estrutura da fundamentação teórica



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 3 sintetiza o processo de desenvolvimento da pesquisa-ação.

Figura 3 - Estrutura da pesquisa-ação



Fonte: Autoria própria (2019)

O primeiro passo consistiu em definir o modelo de maturidade em Indústria 4.0 a ser utilizado para a análise do caso estudado, a partir dos modelos levantados na revisão bibliográfica. Para isso, foi utilizado o método de análise multicritério AHP.

Entre os vários métodos multicritérios disponíveis na literatura, foi adotado o *Analytical Hierarchy Process* (AHP) para identificar o melhor modelo de maturidade a ser aplicado na pesquisa-ação.

O AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 e é uma ferramenta eficaz para lidar com decisões complexas, auxiliando o tomador de decisões a definir prioridades e tomar a melhor decisão. Isso é feito estruturando-se uma hierarquia de critérios e identificando os valores dos pesos relativos para que eles possam espelhar fielmente uma estratégia previamente definida (CANTAMESSA; MONTAGNA, 2016, pp. 183-184). Ainda conforme os autores, do ponto de vista técnico, o AHP realiza essa ponderação de critérios e avaliação de alternativas através de comparações pareadas, que são seguidas de uma validação da coerência nos resultados gerais.

Segundo os autores Saaty e Vargas (2012, pp. 7-9), o processo de análise segue os seguintes passos:

- 1- Definição do objetivo geral;
- 2- Definição clara dos critérios de análise;
- 3- Estabelecimento de prioridades para os critérios principais associando pesos relativos a eles e geração de uma matriz recíproca de comparação pareada, tendo como base a escala de julgamentos apresentada na

Tabela 1;

Tabela 1 - A escala de fundamentos para comparação par a par

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem levemente um elemento em relação ao outro
5	Importância forte	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um elemento em relação ao outro
7	Importância muito forte	Um elemento é fortemente favorecido em relação ao outro, sua dominância é evidenciada em prática
9	Importância extrema	A evidência de dominância de um elemento em relação ao outro é do mais alto grau de certeza
Intensidades dos valores 2,4,6 e 8 podem ser usadas para expressar valores intermediários.		

Fonte: Adaptado de Saaty (1987, p. 163)

- 4- Cálculo do auto vetor, dado pela média geométrica de cada um dos critérios, para identificar as suas importâncias relativas, vide Equação (1), em que W é o auto vetor, C são os critérios, n é a quantidade de critérios.

$$W_i = \sqrt[n]{C1 * C2 * C3 * Cn} \quad (1)$$

- 5- Normalização do auto vetor dada pela Equação (2)

$$W_i^* = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

- 6- Cálculo do Índice de Consistência (IC) dado pela Equação (3), que verifica se existe coerência no valor dos julgamentos dados. Em que $\lambda_{máx}$ é o maior

autovalor, calculado por meio da soma de cada coluna dos critérios e a multiplicação pelo auto vetor normalizado; n é a quantidade de critérios.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

- 7- Cálculo da Razão de Coerência (RC) dado pela Equação (4), em que IC é o Índice de Consistência calculado na Equação (3) e IR é o Índice Randômico estipulado pela Tabela 2. Se o valor encontrado for < 10%, os julgamentos foram coerentes.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Tabela 2 - índice médio de consistência randômica

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de consistência randômica (IR)	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty e Vargas (2012, p. 9)

- 8- Verificação dos critérios para cada alternativa, seguindo os passos 4, 5, 6, 7;
- 9- Cálculo dos resultados para obter as prioridades finais (vetor de decisão). O vetor decisão é calculado por meio da multiplicação dos resultados da matriz das alternativas pelos resultados do auto vetor dos critérios, conforme Equação (5).

$$VD_{ij} = A_1 * C_1 + A_1 * C_2 + A_1 * C_3 + \dots + A_i * C_j \quad (5)$$

Definiu-se como critérios para a escolha do modelo de maturidade utilizando o AHP, conforme acima descrito, os seguintes: Metodologia clara (C1); Questionário disponível (C2); Quantidade de níveis de maturidade (C3); Estrutura das perguntas (C4); Respostas com descrição de cada nível de maturidade (C5).

O método AHP foi utilizado devido ao grande número de critérios para escolha do modelo e a sua subjetividade que é de difícil mensuração. Além disso, foram levantadas algumas alternativas de modelo de maturidade que precisavam ser hierarquizadas.

Dessa forma, foi selecionado o modelo de maturidade dos autores AGCA *et al.* (2017) que melhor atendia aos critérios pré-definidos e aplicado o questionário com os principais gestores de cada área da empresa de acordo com as características do modelo de maturidade escolhido.

Segundo Gil (2002, pp. 145-146), as técnicas mais usuais para coleta de dados na pesquisa-ação são a entrevista individual e o questionário, principalmente quando existe um grande número de elementos a ser analisado.

A terceira fase compreendeu a análise dos dados e o planejamento das ações. A partir do resultado da maturidade da empresa, buscou-se entender quais eram as estratégias digitais que estavam em curso na companhia para que ela alcançasse um nível maior de maturidade em Indústria 4.0. Dessa forma, optou-se por estudar o processo de implementação de um sistema de armazenagem e entender quais resultados e benefícios este projeto traria a empresa e quais elementos fariam com que ela alcançasse um nível maior de maturidade.

Na fase de implementar ações, portanto, selecionou-se a área de recebimento de terceiros para implementação do projeto. A primeira etapa consistiu na contextualização da empresa, a caracterização do estoque e o funcionamento de suas estruturas de armazenagem. Através da ferramenta de mapeamento de processo Bizagi, retratou-se o processo de armazenagem antes e após a implementação do sistema de gestão. Por fim, descreveu-se os requisitos do sistema e detalhou-se o seu funcionamento.

Na última etapa, foi realizada a avaliação dos resultados. Dessa forma, mensurou-se os resultados quantitativos e qualitativos apresentados pelo sistema de gestão de armazenagem. Além disso, o modelo de maturidade foi aplicado novamente e diagnosticou-se quais dimensões sofreram modificações e o quanto o projeto impactou no aumento da maturidade geral da empresa. Por fim, foi gerado o presente relatório.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contexto histórico da inovação tecnológica

A inovação é a principal impulsionadora do crescimento econômico (MAZZUCATO; PEREZ, 2015, p. 231). Economias que conseguem efetivamente incorporar inovações e comercializá-las crescem mais rapidamente e, por conseguinte, são capazes de gerar mais empregos e elevar o padrão de vida das pessoas (HARGROVES; SMITH, 2005, p. 16).

O primeiro autor a sistematizar o funcionamento da dinâmica da economia foi Kondratieff, com a proposição dos ciclos econômicos de longa duração (ROSENBERG; FRISCHTAK, 1983, p. 676). Ele analisou o desempenho de alguns indicadores econômicos (preço das commodities, comércio exterior, consumo de carvão e ferro e outros indicadores produtivos) da França, Grã-Bretanha e Estados Unidos a partir dos registros históricos do século XVIII (KONDRATIEFF, 1935, pp. 105-110).

Kondratieff (1935, p. 111) constatou que a economia se comporta em intervalos alternados de alto crescimento seguido por intervalos de crescimento relativamente lento com uma média de duração de 40 a 60 anos. O autor afirma no seu trabalho que durante a recessão das ondas longas, são feitas um número especialmente grande de importantes descobertas, invenções na técnica de produção e comunicação, e que geralmente são aplicadas em larga escala apenas no começo da próxima onda.

Os estudos de Korotayev e Tsirel (2010, p. 4) apontam que Schumpeter, em 1939, no livro *“Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process”*, aprofundou a teoria de inovação para a economia, proposta por ele inicialmente em 1912. Para isso, baseou-se nas ondas de Kondratieff, e concluiu que as ondas longas eram geradas pela inovação.

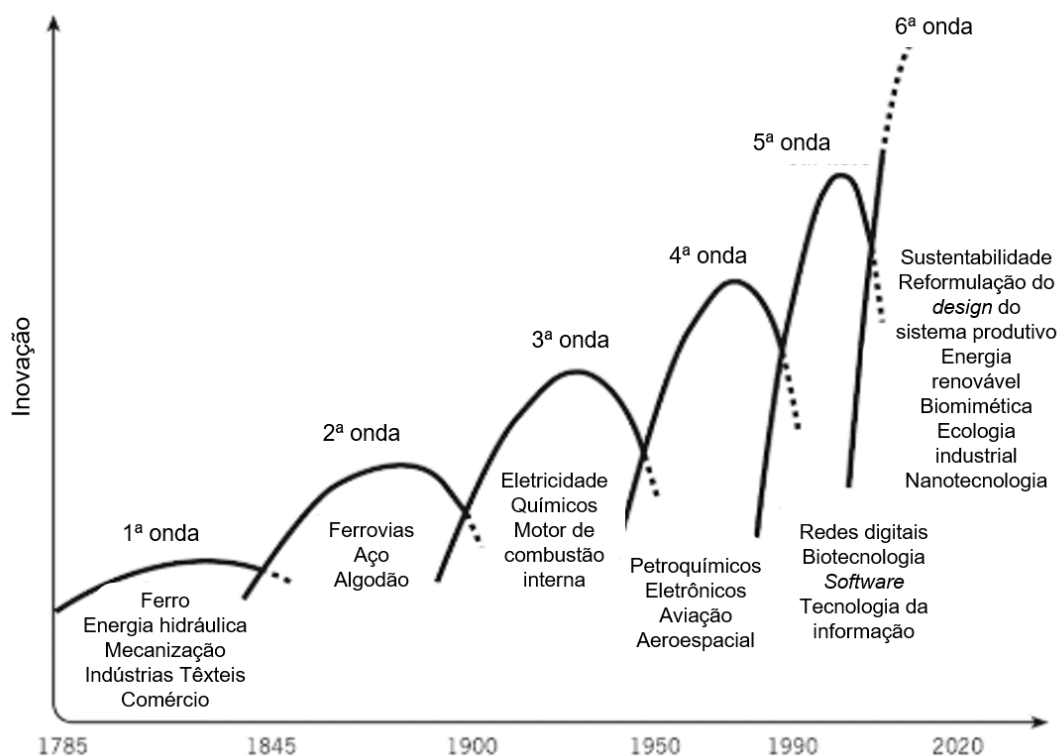
Os estudiosos sempre estiveram cientes de que a tecnologia e a inovação tinham um impacto na economia, mas consideravam estes fatores como exógenos a ela, isto é, algo semelhante a um distúrbio, que poderia no máximo ser estudado por uma perspectiva técnica (CATAMESSA; MONTAGNA, 2016, p.5).

Segundo Catamessa e Montagna (2016, p. 5), Schumpeter foi o primeiro a reconhecer que a inovação tecnológica era endógena à economia e a causa da instabilidade cíclica e do crescimento econômico. Ou seja, as flutuações na inovação são responsáveis por gerar flutuações no investimento, e consequentemente, causam ciclos de crescimento econômico (ROSENBERG; FRISCHTAK, 1983).

Hargorves e Smith (2005, p. 17) sugerem que para que ocorra uma onda de inovação, tendo como base as ondas de Kondratieff e a teoria Schumpeteriana, é preciso haver um conjunto significativo de tecnologias relativamente novas e emergentes e uma necessidade genuína advinda do mercado.

Conforme ilustrado Figura 4, nos últimos 200 anos, a humanidade experimentou diferentes ondas de inovação.

Figura 4 - Ondas de inovação da primeira à próxima Revolução Industrial



Fonte: Adaptado de Hargroves e Smith (2005, p.17)

Constata-se na Figura 4 que a teorização proposta pelos autores mencionados, converge para uma dinâmica das ondas de inovação percebidas ao longo dos tempos.

3.2 Revoluções Industriais e as ondas de inovação

A primeira onda de inovação foi a Primeira Revolução Industrial, ocorrida em meados do século XVIII até o início do século XIX, que consistiu na substituição da mão de obra artesanal pela mecanização dos processos produtivos com o uso de motores à vapor. Este período desencadeou inúmeras inovações técnicas e organizacionais, aplicadas, principalmente à indústria têxtil e à manufatura do ferro (FREEMAN; LOUÇÃ, 2001, p. 6).

A Segunda Revolução Industrial foi ainda mais poderosa e abrangeu a segunda e terceira ondas de inovação. Teve início por volta de 1850 e terminou por volta de 1940, envolvendo grandes avanços na indústria química, automotiva, telecomunicações, construção de ferrovias e na produção em massa de bens movidos à eletricidade e derivados do petróleo. De acordo com Evans e Annunziata (2012, pp. 7-8), a Segunda Revolução Industrial propôs a divisão do trabalho, impulsionou a economia de escala e provocou profundas transformações no padrão de vida das pessoas.

A Terceira Revolução Industrial, representada pela quarta e quinta ondas de inovação, teve início após a Segunda Guerra Mundial. Esta fase marcou o início do emprego da eletrônica e da tecnologia da informação (TI) para alcançar maior automação dos processos de fabricação. As máquinas passaram a assumir não apenas uma parcela substancial do "trabalho manual", mas também boa parte do "trabalho intelectual" (KAGERMANN, 2013, p. 14).

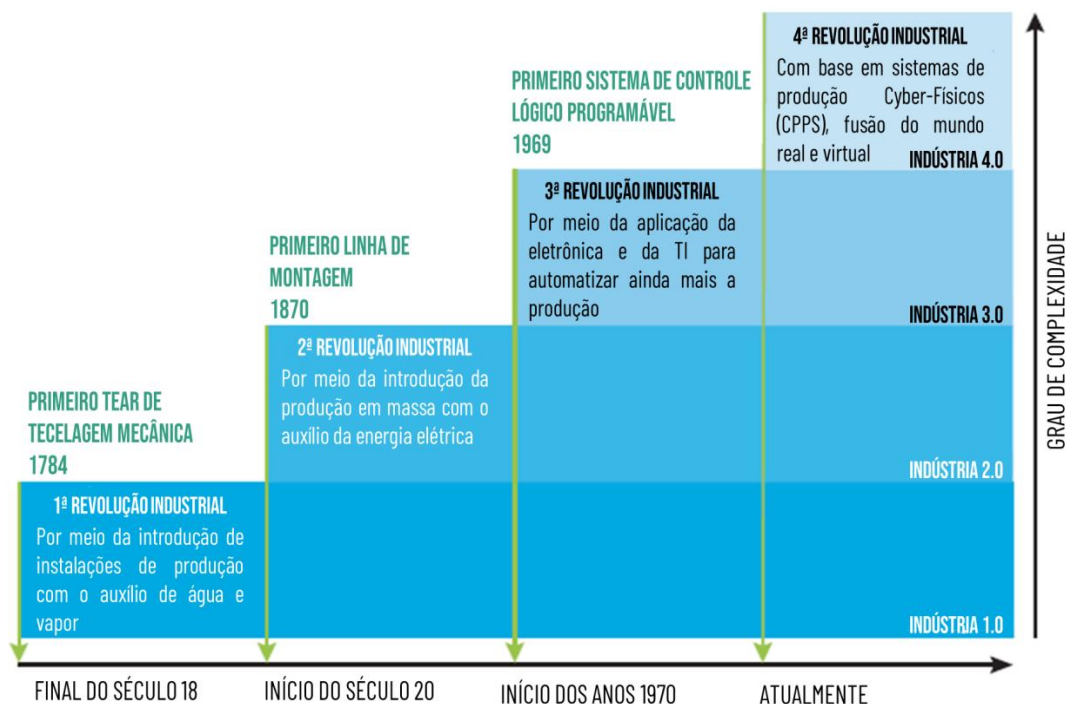
Segundo Laudon e Laudon (2011, p. 107), por volta dos anos 1960, foram inventados os primeiros computadores, denominados *mainframe computers*. Os autores alegam ainda que foi na era do *mainframe* que nasceu a *internet*, no entanto, ela só começou a ser usada em larga escala nos anos 1980, com a criação dos computadores pessoais e da rede de comunicação aberta (*World Wide Web*). A abertura e a flexibilidade da rede foram elementos fundamentais para o seu crescimento exponencial.

A combinação de velocidade e volume de informações criou novas plataformas para comércio e comunicação entre as pessoas, reduzindo o custo de transações comerciais e interações sociais. Essa ideia é trazida por Evans e Annunziata (2012,

p. 8), que afirmam ainda que a Internet, a computação e a possibilidade de transmitir e receber grandes quantidades de dados mudaram os sistemas de produção, permitindo uma integração mais profunda e operações mais flexíveis. Além disso, a capacidade de trocar informações rapidamente e descentralizar a tomada de decisões gerou ambientes de trabalho mais colaborativos que não são limitados pela geografia.

A Figura 5 sintetiza a transição entre as Revoluções Industriais e sumariza os principais acontecimentos em cada fase.

Figura 5 - Progresso das Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Deloitte (2015).

Empresas de sucesso aprenderam a navegar nessas ondas e reconhecem as enormes oportunidades de crescimento oferecidas pela digitalização, interconectividade e novas tecnologias de fabricação. De acordo com Schuh *et al.* (2017, p. 5), estes fenômenos que estão impulsionando novos modelos de negócios, o uso sustentável e eficiente de recursos limitados e a produção econômica de produtos altamente personalizáveis são referidos coletivamente sob o termo: Indústria 4.0. O “4.0” alude ao potencial revolucionário desta tendência, que segue diretamente os passos das três revoluções industriais anteriores (KAGERMANN, 2013, p. 14).

3.3 Indústria 4.0

3.3.1 Origem da Indústria 4.0

O termo “Indústria 4.0” foi introduzido pela primeira vez em 2011 na Alemanha para descrever o fenômeno de integração generalizada da tecnologia da informação e comunicação no contexto industrial (SCHUH *et al.*, 2017, p. 7).

O principal objetivo da Quarta Revolução Industrial, segundo Schuh *et al.* (2017, p. 10) é gerar conhecimento a partir dos dados, a fim de transformar a empresa em uma organização ágil e capaz de se adaptar continuamente à dinamicidade do mercado. O ambiente dinâmico e a sua crescente complexidade significam que as organizações precisam tomar decisões mais rápidas e melhores se quiserem permanecer competitivas a longo prazo. Portanto, o potencial econômico fundamental da Indústria 4.0 está em sua capacidade de acelerar os processos de tomada de decisão e adaptação da empresa (SCHUH *et al.*, 2017, p.10).

Ainda segundo os autores, Indústria 4.0 é caracterizada por: “tempo real, alto volume de dados, comunicação multilateral e interconectividade entre sistemas *cyber-físicos*¹ e pessoas” (CAPGEMINI, 2014, p. 6). Os autores Kagermann *et al.* (2013, p. 5) também descrevem sua visão em relação à Indústria 4.0. Para eles, uma Indústria 4.0 é uma empresa que no futuro estabelecerá redes globais de modo a incorporar seus maquinários, sistemas de armazenamento e instalações de produção na forma de sistemas *cyber-físicos* (CPS).

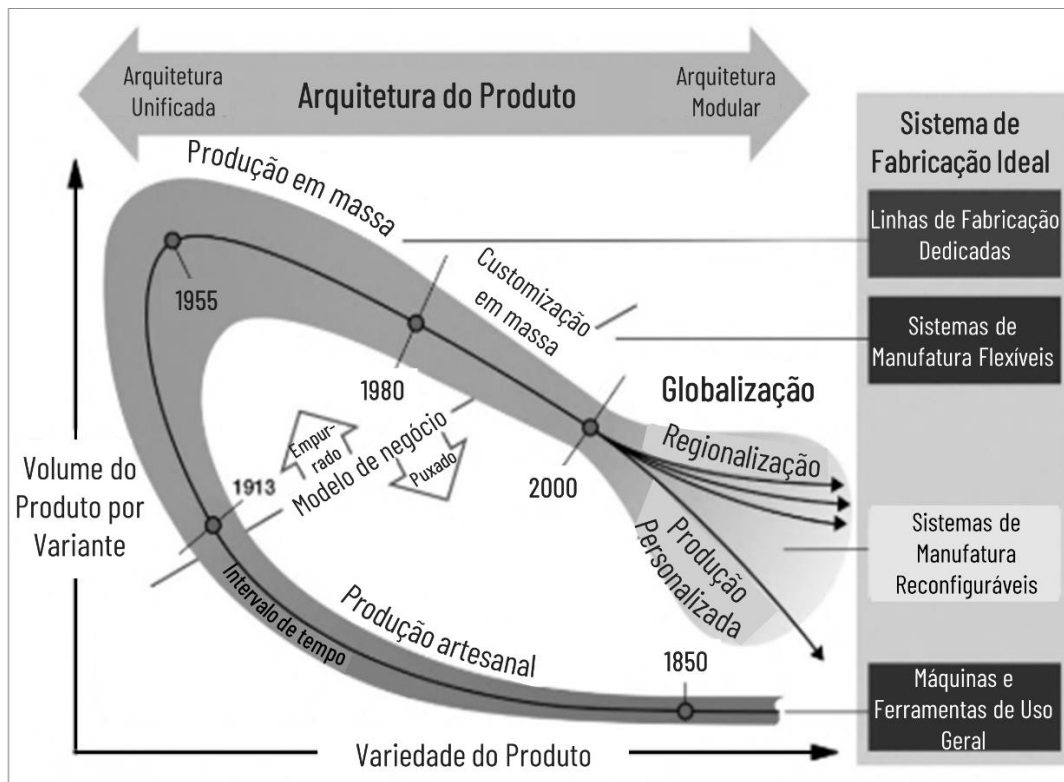
A 4ª Revolução Industrial tem por objetivo, portanto, viabilizar a customização em massa do produto, por meio da flexibilização das linhas de produção. Dessa forma, será possível produzir bens de acordo com a preferência e necessidades dos consumidores (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016, p. 13).

A Figura 6 ilustra a relação entre o modelo artesanal vigente antes da 1ª Revolução Industrial e o modelo de customização em massa proporcionado pela Indústria 4.0. Apesar de se assemelharem no quesito customização, há uma grande diferença entre as duas épocas apresentadas, tanto em relação ao custo de fabricação de produtos quanto ao volume de produção. No modelo de personalização

¹ Sistemas *cyber-físicos* (CPS) são objetos físicos que contêm em sua estrutura um sistema com poder computacional, capaz de armazenar dados e conectar-se à rede (CAPGEMINI, 2014, p. 6).

em massa, o custo é muito menor e a quantidade fabricada é muito maior do que na produção artesanal.

Figura 6 - Da produção manual à produção personalizada em massa



Fonte: Adaptado de Koren (2010, p. 38)

Dessa forma, constata-se na Figura 6 a transição dos modelos de produção ao longo do tempo, dadas as mudanças de necessidades da sociedade, mercados e considerando a emergência de novas tecnologias (KOREN, 2010, p. 38).

A Indústria 4.0 é composta por alguns princípios. A análise de Capgemini (2014, p. 6) identifica quatro princípios que a compõem (Soluções Inteligentes, Inovação Inteligente, Cadeias de Suprimento Inteligentes e Fábrica Inteligente). Hermann, Pentek, Otto (2015, p. 6), por meio de um estudo bibliométrico, contemplou as publicações mais relevantes a respeito da Indústria 4.0.

O estudo apontou os seguintes componentes como chave: sistemas *cyber*-físicos (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e Fábricas Inteligentes. Além disso, a pesquisa bibliográfica realizada pelos autores identificou seis princípios para sua implementação: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviços e modularidade.

Portanto, a seguir serão apresentados uma breve descrição destes princípios propostos por Hermann, Pentek, Otto (2015) que são de suma importância para que a implementação da Indústria 4.0 seja conduzida dentro de uma empresa.

3.3.2 Princípios da Indústria 4.0

a) Sistemas Cyber-Físicos

Os Sistemas Cyber-Físicos (CPS) compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionando ações e controlando umas às outras independentemente (Kargermann *et al.*, 2013, p. 5).

Segundo Lee, Bagheri e Kao (2014, p. 19), um sistema cyber-físico possui duas principais funções: (1) a conectividade avançada que garante a coleta de dados em tempo real do mundo físico e o retorno instantâneo de informações do espaço cibernético; e o (2) gerenciamento inteligente de dados, capacidade analítica e computacional que constrói o ciberespaço.

Considerando que os sistemas cyber-físicos se encontram na fase inicial de desenvolvimento, Lee, Bagheri e Kao (2014, p. 19) ressaltam ainda a importância de definir sua estrutura e metodologia, com o objetivo de fornecer uma diretriz para o seu desenvolvimento e implementação na indústria. Dessa forma, os autores propuseram um modelo de 5 camadas, nomeada, arquitetura 5C, conforme a Figura 7.

Figura 7 - 5C arquitetura para implementação de um sistema *cyber-físico*



Fonte: Adaptado de Lee, Bagheri, Kao (2014. p. 19)

O primeiro passo compreende a conexão inteligente que visa coletar dados precisos e confiáveis das máquinas e seus componentes. Os dados precisam ser medidos diretamente por sensores ou obtidos via sistemas de controle de dados corporativos como *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Business Intelligence* (BI) e *Customer Relationship Management* (CRM) (LEE; BAGHERI; KAO, 2014, p. 20).

Na segunda camada, o sistema deve reconhecer e converter os dados em informações relevantes, trazendo autoconsciência às máquinas.

Conforme ainda proposto pelos autores, a terceira etapa atua como a central de informações da arquitetura. Assim, os dados de todas as máquinas conectadas ao sistema são enviados a essa central de modo a formar uma rede que permita realizar análises. Estas análises fornecem às máquinas uma capacidade de auto comparação e memória, em que o desempenho de uma única máquina pode ser comparado e avaliado ante as demais. Isto torna possível prever seu comportamento futuro.

A quarta camada (Cognição) apresenta as análises feitas na etapa anterior de modo a dar suporte à tomada de decisão. O contínuo uso das máquinas gera cada vez mais dados e, por conseguinte, um padrão que permite prever com mais precisão

o seu comportamento futuro. Isto estabelece um conhecimento profundo do sistema monitorado (LEE; BAGHERI; KAO, 2014, p.19).

Por fim, os autores propõem o último nível: configuração. Ele é responsável por prover o *feedback* do ciberespaço ao espaço físico, atuando como controle de supervisão para tornar as máquinas autoconfiguradas e auto adaptáveis. Esta etapa visa aplicar ao sistema monitorado as decisões corretivas e preventivas que foram tomadas em nível de cognição.

b) Internet das Coisas - Internet of Things (IoT)

A Internet das coisas (IoT) visa integrar a Internet com objetos, por meio de sensores inteligentes e *softwares* (NUNEZ; BORSATO, 2015, p.3). A IoT forma a interface entre o ambiente físico e o ambiente virtual.

Segundo Hermann, Otto e Pentek (2015, p. 9 apud Giusto *et al.*, 2010, p. 5), através de esquemas de endereçamento únicos, eles interagem entre si e cooperam com os componentes “inteligentes” vizinhos, para alcançar objetivos comuns. *Machine-to-Machine Communication* (M2M) é o componente principal do IoT e se refere às máquinas que trocam informações de forma automatizada, por meio do CPS. Dessa maneira, permitem que as empresas diminuam custos, observem padrões de comportamento do maquinário e melhorem sua eficiência (CAPGEMINI, 2014, p. 12).

Neste contexto, é pertinente ainda detalhar o conceito de *Big Data*. Segundo Schuh *et al.* (2017, p. 17), *Big Data* é o termo usado para descrever dados em massa que não podem mais ser processados e analisados usando processos analíticos de negócios convencionais. Assim, eles proporcionam uma plataforma comum que pode ser usada para realizar uma profunda análise de dados estocásticos, permitindo revelar padrões e alimentar a capacidade preditiva das máquinas.

c) Internet dos Serviços - Internet of Service (IoS)

A Internet dos Serviços permite que fornecedores disponibilizem serviços pela *internet* (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, p. 8). Estes são oferecidos e combinados em serviços de valor agregado e comunicados tanto aos usuários quanto aos consumidores, podendo ser acessados por eles através de vários canais. (BUXMANN; HESS; RUGGABER, 2009, p. 341).

A Internet dos Serviços permitirá o compartilhamento de informações tanto internamente quanto com parceiros de negócios, que estão amplamente integrados ao sistema (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 25). Os produtos serão capazes de se conectar com o cliente para oferecer serviços dirigidos por dados. Dessa forma, um dispositivo habilitado digitalmente também permitirá a coleta de dados do usuário, que podem ser usados para oferecer mais serviços de adição de valor (AGCA *et al.*, 2017, p. 6). Assim, os serviços dirigidos por dados para os clientes representarão uma parcela significativa das receitas (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 25).

d) Fábricas Inteligentes

De acordo com Schuh *et al.* (2017, p. 10) as principais características das fábricas inteligentes são a customização, flexibilidade na produção e a rastreabilidade dos pedidos. Isto permite localizá-los em todas as etapas da cadeia produtiva, desde o momento em que são inseridos no sistema até a logística de saída.

Para Kargermann *et al.* (2013, p. 5), as fábricas inteligentes são sistemas de manufatura conectados verticalmente com processos de negócios dentro das fábricas e conectados horizontalmente às redes de valor dispersas que podem ser gerenciadas em tempo real. Ainda segundo o autor, elas constituem a característica chave da Indústria 4.0.

As Fábricas Inteligentes podem ser definidas como locais onde o Sistema Cyber-Físico (CPS) se comunica por meio da *Internet* das Coisas (IoT), auxiliando as pessoas e máquinas na execução de suas tarefas (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015, p. 10).

Em suma, a fábrica emergente do futuro está altamente conectada. Por meio de processos inteligentes, máquinas conectadas, robôs, sensores, dispositivos inteligentes, tecnologias de computação generalizadas e um fluxo constante de análise de dados em tempo real, em que serão automatizadas muitas tarefas operacionais da fábrica e do sistema de manufatura como um todo (FORBES, 2018).

Ainda segundo a reportagem, as fábricas inteligentes vão além de simplesmente aumentar a automação industrial, elas são caracterizadas por dar autonomia e agilidade à produção, análises em tempo real, que fornecem

transparência operacional e tornam os dados uma força transformadora para os negócios.

3.4 Modelos de Maturidade em Indústria 4.0

O termo maturidade pode ser interpretado como o “estado de estar completo, perfeito e pronto” (SIMPSON; WEINER; OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1989). Modelos de maturidade são comumente usados como um instrumento para conceituar e medir a maturidade de uma organização ou um processo relativo a algum estado-alvo específico (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016, p. 162).

A implementação de estratégias de Indústria 4.0 costuma enfrentar barreiras dentro das companhias, principalmente porque os executivos não possuem certeza em relação aos resultados, não detêm conhecimento a respeito do tema e os custos de investimento são altos (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, pp. 61-62). Os modelos de maturidade em Indústria 4.0, portanto, são ferramentas que auxiliam os gestores na tomada de decisão, pois fornecem meios para estabelecer o atual estágio de maturidade da empresa e identifica as áreas em que ações são necessárias (SCHUH, *et al.*, 2017, p. 5). Ainda de acordo com os autores, os modelos de maturidade permitem uma identificação sistemática de fraquezas e oportunidades e dão a base para a formulação de uma estratégia sólida de implementação da Indústria 4.0.

Na literatura já são encontrados alguns modelos de maturidade em Indústria 4.0. A seguir, serão apresentados os principais autores que foram considerados para o presente estudo e uma síntese dos seus respectivos modelos.

*a. Industrie 4.0 Maturity Index – Acatech Study - (SCHUH *et al.*, 2017)*

O modelo proposto pela Acatech (Academia Nacional de Ciência e Engenharia), localizada na Alemanha, e pelos autores Schuh *et al.* tem como objetivo fornecer um meio de estabelecer o atual estágio de maturidade em Indústria 4.0 das empresas e identificar medidas concretas para ajudá-las a atingir um estágio de maior maturidade, a fim de maximizar os benefícios econômicos da empresa e da digitalização (SCHUH *et al.*, 2017, p. 14).

A metodologia tem o intuito de formular um roteiro digital para todas as áreas relevantes sob uma perspectiva tecnológica, organizacional, cultural e dos processos de negócios (SCHUH *et al.*, 2017, pp. 13-14). Os autores propõem, portanto, uma abordagem passo a passo para alcançar os benefícios que reduzem os riscos de investimento e de implementação para companhia. O roteiro ajuda os gestores a entenderem a importância de desenvolver uma estratégia digital comum para todo o negócio.

O modelo é dividido em seis estágios sucessivos de maturidade, desde os requisitos básicos da Indústria 4.0 até a implementação completa, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Estágios da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2017, p. 16)

Nível 1 – Informatização: diferentes tecnologias da informação são usadas de forma isolada. Esta etapa já está bem avançada na maioria das empresas de médio e grande porte do segmento da indústria de transformação e é usada principalmente para realizar tarefas repetitivas com mais eficiência (SCHUH *et al.*, 2017, p. 15). Exemplo: Máquinas CNC.

Nível 2 – Conectividade: os sistemas de informação passam a ter interoperabilidade (SCHUH *et al.*, 2017, p. 16). Segundo os autores, os aplicativos de

negócios mais usados estão conectados entre si e refletem os principais processos empresariais da empresa, porém ainda não apresentam integração total.

Os níveis 1 e 2 são os requisitos básicos (fase de digitalização) para a implementação da Indústria 4.0.

Nível 3 – Visibilidade: neste estágio, a fábrica está sensoriada em vários pontos, permitindo que os processos sejam capturados do início ao fim. Isso possibilita a concepção de uma “sombra digital”, ou seja, um modelo digital que mostra exatamente o que está acontecendo na empresa a qualquer momento, permitindo que decisões sejam baseadas em dados reais (SCHUH *et al.*, 2017, pp. 16-17). Ainda de acordo com os autores, produzir uma sombra digital é um grande desafio para muitas empresas, pois normalmente não existe uma fonte única de dados, pois eles são, frequentemente, mantidos em silos descentralizados, ou seja, cada sistema de informação apresenta um dado diferente, porém relativo a mesma informação. Além disso, em algumas áreas como produção, logística e serviços, ainda é comum que muito poucos dados sejam coletados e não estejam visíveis para todos.

Nível 4 – Transparência: a empresa compreende por que algo está acontecendo e identifica as causas raízes do problema (SCHUH *et al.*, 2017, p. 17). Para isso, são usadas novas tecnologias com capacidade de processar e combinar um grande volume de dados (*Big Data*) e análises de probabilidades.

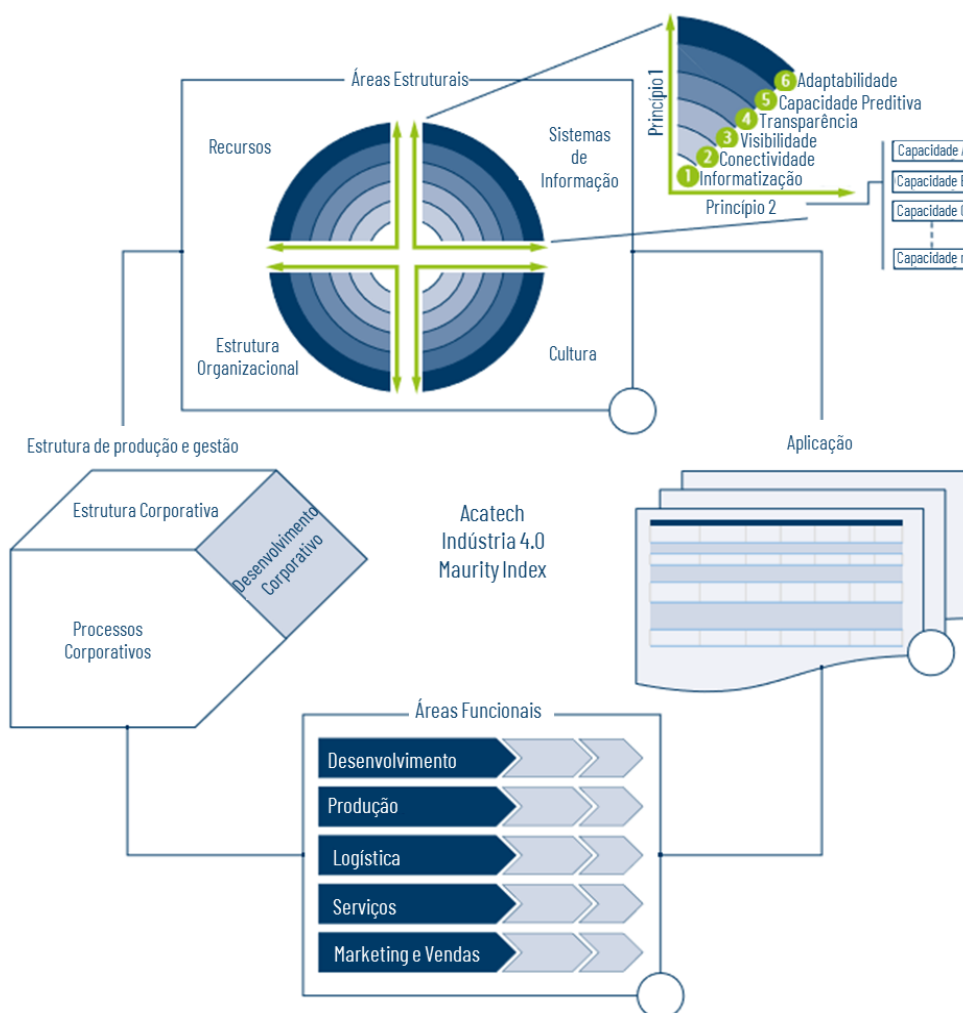
Nível 5 – Capacidade Preditiva: neste estágio, a “sombra digital” é projetada para o futuro, sendo possível simular diferentes cenários e identificar os mais prováveis de acontecer. A empresa é capaz de antecipar desenvolvimentos, tomar decisões e implementar as medidas apropriadas em tempo hábil. Uma “sombra digital” construída adequadamente, combinada com o conhecimento das interações relevantes, ajudará a garantir que tanto as previsões quanto as recomendações baseadas nelas sejam de alto padrão (SCHUH *et al.*, 2017, p. 18).

Nível 6 – Adaptabilidade: neste estágio, a capacidade preditiva é um requisito fundamental, pois as ações e a tomada de decisão são automatizadas. O objetivo da adaptabilidade pode ser considerado como alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados da “sombra digital” para tomar decisões que tenham os melhores

resultados possíveis, no menor tempo possível e a implementação das medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana (SCHUH *et al.*, 2017, p. 18).

O modelo é dividido em três aspectos: Cultura Corporativa, Processos Corporativos e Desenvolvimento Corporativo, conforme apresentado na Figura 9. A primeira refere-se aos aspectos de uma empresa que são indispensáveis para a produção de seus bens e serviços. O segundo, por outro lado, refere-se às cadeias de processos em todas as áreas da empresa. O último refere-se ao desenvolvimento estratégico e operacional da empresa.

Figura 9 - Estrutura do modelo de maturidade em Indústria 4.0 da Acatech



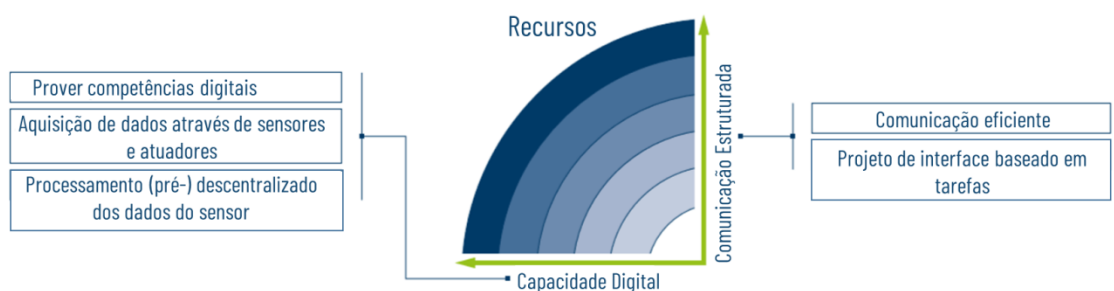
Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2017. p. 19)

O modelo, ainda segundo a Figura 9 é dividido em quatro áreas estruturais, são elas:

1. **Recursos:** referem-se aos recursos físicos tangíveis, isto inclui os recursos humanos, máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final.
2. **Sistemas de Informação:** são os sistemas de informação utilizados pela empresa. Eles preparam, processam, armazenam e transferem dados e informações.
3. **Estrutura Organizacional:** refere-se à organização interna de uma empresa (estrutura e processos operacionais) e estabelece regras obrigatórias que organizam a colaboração dentro e fora da companhia.
4. **Cultura:** é o sistema de valor dentro da empresa. A implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 depende da mudança de cultura da empresa, ou seja, o quanto os funcionários estão dispostos a mudar a sua mentalidade.

Dois princípios orientadores, juntamente com as capacidades necessárias, são identificados para cada área estrutural. A Figura 10 exemplifica a área estrutural **Recursos**, seus princípios (capacidade digital e comunicação estruturada) e as suas cinco capacidades (prover competências digitais; aquisição de dados através de sensores e atuadores; processamento (pré-) descentralizado dos dados do sensor; comunicação eficiente; projeto de interface baseado em tarefas). Para as demais áreas, segue-se a mesma lógica apresentada.

Figura 10 - Princípios e capacidades referentes a área estrutural de Recursos



Fonte: Adaptado de Schuh *et al.* (2017. p. 21)

Os processos corporativos formam a base das cinco áreas funcionais investigadas pelo modelo, são elas: áreas funcionais de desenvolvimento, produção, logística, serviços e marketing e vendas, conforme ainda apresentado na Figura 9.

O uso do modelo de maturidade Acatech compreende três etapas sucessivas. A primeira etapa é a identificação, por meio de um questionário nas diferentes áreas funcionais da empresa, do estágio atual de maturidade e o desejado ao final do processo de transformação digital (SCHUH *et al.*, 2017, p. 44). Dessa forma, é possível identificar as lacunas existentes e os recursos que ainda precisam ser desenvolvidos, o que compreende o estágio dois (SCHUH *et al.*, 2017, p. 44). Por fim, ainda segundo os autores, o último estágio compreende em formular ações e incorporá-las a um roteiro com o objetivo de desenvolver as capacidades defasadas identificadas no estágio dois.

b. A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises – (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016)

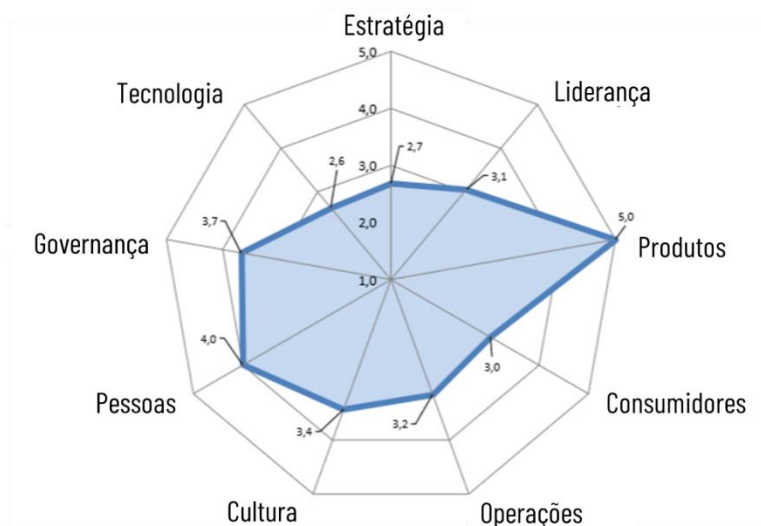
O modelo proposto pelos autores possui um total de 62 itens de maturidade que são agrupados em nove dimensões da empresa, são elas: Estratégia, Liderança, Consumidores, Produtos, Operações, Cultura, Pessoal, Governança e Tecnologia (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016, p. 164). Segundo os autores, a avaliação da maturidade é realizada por meio de um questionário padronizado que consiste em uma pergunta fechada por item.

Cada item de maturidade recebe uma pontuação, sendo o nível 1 uma completa falta de atributos que suportam os conceitos da Indústria 4.0 e o nível 5 o estado ideal requerido (SCHUMACHER; EROL; SIHN, 2016, p. 164). A partir da pontuação dada a cada item, o peso de cada dimensão, têm-se o nível de maturidade da empresa. A Equação (1) mostra como é feito o cálculo de maturidade de cada dimensão, em que M é a maturidade, D é a dimensão, I é o item, p é o peso e n é o número de itens de maturidade.

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^n M_{DI} * p_{DI}}{\sum_{i=1}^n p_{DI}} \quad (1)$$

Por fim, as dimensões são plotadas em um gráfico juntamente com as suas respectivas pontuações, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Gráfico de radar elucidando as 9 dimensões propostas



Fonte: Adaptado de Schumacher; Erol; Sihn (2016. p. 165)

Ao longo do artigo, no entanto, os autores não disponibilizaram o questionário de avaliação da empresa, apenas uma questão como exemplo, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3: Exemplo de questão para medir a maturidade do item

Questão Externa	1	2	3	4	5
É utilizado um roteiro para planejar as atividades relacionadas a Indústria 4.0 na sua empresa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

1. Não implementado, 5. Totalmente implementado

Fonte: Adaptado de Schumacher; Erol; Sihn (2016. p. 164)

Nota-se que é papel do entrevistado identificar o nível que ele acredita que a empresa se encontra em relação ao item proposto.

c. *Industrie 4.0 readiness* – IMPULS – (LICHTBLAU *et al.*, 2015)

O estudo foi desenvolvido pela Fundação IMPULS da Federação Alemã de Engenharia (VDMA), conduzido pela IW Consult (subsidiária do Instituto de Pesquisa Econômica de Colônia) e pelo Instituto de Administração Industrial (FIR) da RWTH

Aachen University. Especialistas da VDMA e alguns representantes da indústria serviram como consultores no desenvolvimento do estudo.

O objetivo do modelo é examinar a prontidão da Indústria 4.0 nas empresas de manufatura alemã (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 10). Segundo os autores, o estudo visa responder essencialmente duas questões: 1. Onde as empresas do setor de manufatura da Alemanha estão atualmente em relação a Indústria 4.0?; 2. Quais são as condições que devem ser criadas para a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 nas empresas e quais circunstâncias precisam mudar?

O modelo é composto por 6 dimensões, são elas: Estratégia e organização; Fábrica inteligente; Operações inteligentes; Produtos inteligentes; Serviços dirigidos por dados; Funcionários (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 21). Cada uma dessas seis dimensões é delineada em áreas, totalizando 18 critérios, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Dimensões e campos associados da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015, p. 22)

Foi desenvolvida uma plataforma *on-line* com um questionário a ser preenchido com cada um dos 18 critérios expostos na Figura 12. Dessa forma, ao final do estudo proposto pela IMPULS, seria possível realizar uma comparação entre as empresas de manufatura que responderam o questionário. Foram definidos 6 níveis ao total, conforme descrito a seguir.

Nível 0 – Não iniciada: uma empresa neste nível não atende a nenhum dos requisitos da Indústria 4.0. O nível 0 foi atribuído automaticamente às empresas que indicaram que a Indústria 4.0 era desconhecido ou irrelevante para elas (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 22).

Nível 1 – Iniciante: existem apenas alguns dos processos de produção que são suportados por sistemas de T.I, e a infraestrutura de equipamentos existente satisfaz apenas parcialmente os requisitos de integração e comunicação futuros (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 22). Segundo os autores, o compartilhamento de informações internas e integradas ao sistema é limitado a algumas áreas e as soluções de segurança de TI ainda estão na fase de planejamento ou implementação.

Nível 2 – Intermediário: a empresa está desenvolvendo uma estratégia para implementar a Indústria 4.0 e já existem indicadores para medir o *status* da implementação. Alguns dados de produção são coletados automaticamente e usados de forma limitada, no entanto, a infraestrutura do equipamento não satisfaz todos os requisitos para expansão futura. O compartilhamento de informações na empresa está integrado ao sistema até certo ponto, e os primeiros passos estão sendo dados para integrar o compartilhamento de informações com os parceiros de negócios. Soluções adequadas de segurança de TI já estão em vigor e estão sendo expandidas. Neste ambiente de produção, a empresa está fabricando produtos com as primeiras funcionalidades adicionais baseadas em TI (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 23).

Nível 3 – Experiente: a empresa neste nível já formou uma estratégia em Indústria 4.0. Já são realizados investimentos em várias áreas e os sistemas de TI são interligados por meio de interfaces que suportam os processos de produção, com dados em áreas-chave coletados automaticamente. A infraestrutura do equipamento pode ser atualizada para acomodar futuras expansões. O compartilhamento de informações internas e entre empresas é parcialmente integrado ao sistema. Nesse

ambiente, a empresa está fabricando produtos com várias funcionalidades adicionais interconectadas baseadas em TI. Esses produtos formam a base dos primeiros serviços dirigidos por dados, mas ela ainda não está integrada a seus clientes. Os serviços orientados por dados para os clientes representam uma pequena parte das receitas (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 24).

Nível 4 – Especialista: já existe uma estratégia de Indústria 4.0 e a empresa monitora os indicadores apropriados. Os investimentos estão sendo feitos em quase todas as áreas relevantes, e o processo é apoiado pela gestão de inovação interdepartamental. Os sistemas de TI suportam a maioria dos processos de produção e coletam grandes quantidades de dados, que são usados para otimização. Uma expansão adicional é possível, já que o equipamento já satisfaz os requisitos futuros de integração. O compartilhamento de informações tanto internamente quanto com parceiros de negócios é amplamente integrado ao sistema. As soluções de segurança de TI são usadas nas áreas relevantes e existem soluções baseadas em nuvem. Peças de trabalho começam a ser guiadas autonomamente e, assim como os produtos, apresentam funcionalidades adicionais baseadas em TI que permitem a coleta de dados e a análise direcionada durante a fase de uso. Isso, por sua vez, suporta serviços dirigidos por dados, que os clientes já estão usando e que respondem por uma pequena parte das receitas. Os serviços dirigidos por dados apresentam integração direta entre o cliente e o produtor (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 25).

Nível 5 – “Top performer”: a estratégia de Indústria 4.0 já está implementada e a empresa monitora constantemente seus indicadores. Foi estabelecido um gerenciamento de inovação em toda a empresa. Existe um suporte abrangente ao sistema de TI em sua produção e todos os dados relevantes são coletados automaticamente. A infraestrutura do equipamento atende a todos os requisitos de integração e comunicação integrada ao sistema. Isto, por sua vez, permite o compartilhamento de informações integradas ao sistema, tanto internamente quanto com parceiros de negócios. Soluções abrangentes de segurança de TI foram implementadas e as soluções baseadas em nuvem oferecem uma arquitetura de TI flexível. Algumas áreas de produção já utilizam peças guiadas autonomamente e processos que reagem de forma autônoma. As peças de trabalho e os produtos apresentam extensas funcionalidades adicionais baseadas em TI, e os dados

coletados dessa forma na fase de uso são usados para funções como desenvolvimento de produtos, manutenção remota e suporte a vendas. Os serviços orientados por dados para os clientes já representam uma parcela significativa das receitas. O produtor está integrado com o cliente (LICHTBLAU *et al.*, 2015, p. 25).

O questionário completo é disponibilizado pela instituição de forma *on-line*. A Tabela 4 e a Tabela 5 ilustram exemplos de perguntas que podem ser encontradas.

Tabela 4 - Exemplo 1 de pergunta avaliada pelo questionário

Assinale as tecnologias que são utilizadas na empresa:			
<input type="checkbox"/>	Tecnologia de sensores	<input type="checkbox"/>	Dispositivos finais móveis
<input type="checkbox"/>	Sistemas de localização em tempo real	<input type="checkbox"/>	RFID
<input type="checkbox"/>	Big data para armazenar e avaliar dados em tempo real	<input type="checkbox"/>	Comunicações M2M
<input type="checkbox"/>	Tecnologias de nuvem como infraestrutura de TI escalável	<input type="checkbox"/>	Sistemas de TI embarcados

Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015)

Tabela 5 - Exemplo 2 de pergunta avaliada pelo questionário

A empresa utiliza indicadores para rastrear o <i>status</i> de implementação de sua estratégia em Indústria 4.0?	
<input type="checkbox"/>	Sim, existe um sistema de indicadores que é considerado apropriado
<input type="checkbox"/>	Sim, existe um sistema de indicadores que dá alguma direção a empresa
<input type="checkbox"/>	Não, a abordagem da empresa ainda não está claramente definida

Fonte: Adaptado de Lichtblau *et al.* (2015)

Percebe-se que algumas questões do questionário não seguem um padrão de escala de 0 a 6 como proposto, inicialmente, pelos autores.

d. *An Industry 4 readiness assessment tool* - WMG; Crimson & Co; Pinsent Masons – (AGCA *et al.*, 2017)

Esse modelo foi desenvolvido com base em pesquisas da WMG (Universidade de Warwick) em conjunto com colaboradores industriais Crimson & Co e Pinsent

Masons. O objetivo da ferramenta é fornecer uma maneira simples e intuitiva para as empresas começarem a avaliar sua prontidão e ambição futura em relação a Indústria 4.0.

O modelo é estruturado em seis dimensões (Produtos e serviços, Fabricação e operações, Estratégia e organização, Cadeia de suprimentos, Modelo de negócios e Considerações legais) que estão divididas em 37 sub dimensões, vide Figura 13.

Figura 13 - Dimensões e respectivas sub dimensões

Produtos e Serviços		Fabricação e Operações	
<input type="checkbox"/> Personalização do produto	<input type="checkbox"/> Recursos digitais de produto	<input type="checkbox"/> Serviços dirigido por dados	<input type="checkbox"/> Nível de uso de dados do produto pela empresa
<input type="checkbox"/> Participação na receita	<input type="checkbox"/> Automação	<input type="checkbox"/> Integração do sistema de máquinas e operações (M2M)	<input type="checkbox"/> Preparação do equipamento para Indústria 4.0
	<input type="checkbox"/> Peças de trabalho guiadas autonomamente	<input type="checkbox"/> Processos de auto otimização	<input type="checkbox"/> Modelagem digital
		<input type="checkbox"/> Coleta de dados de operações	<input type="checkbox"/> Uso de dados de operações
		<input type="checkbox"/> Uso da solução em nuvem	<input type="checkbox"/> T.I e segurança de dados
Estratégia e Organização		Cadeia de Suprimentos	
<input type="checkbox"/> Grau de implementação da estratégia	<input type="checkbox"/> Medição	<input type="checkbox"/> Investimentos	<input type="checkbox"/> Capacidade das pessoas
<input type="checkbox"/> Colaboração	<input type="checkbox"/> Liderança	<input type="checkbox"/> Finanças	<input type="checkbox"/> Controle de inventário usando gerenciamento de dados em tempo real
		<input type="checkbox"/> Integração da cadeia de suprimentos	<input type="checkbox"/> Visibilidade da cadeia de suprimentos
		<input type="checkbox"/> Flexibilidade da cadeia de suprimentos	<input type="checkbox"/> Tempo de espera
			<input type="checkbox"/> Modelo "as a service"
			<input type="checkbox"/> Decisões baseadas em dados
			<input type="checkbox"/> Rastreamento em tempo real
			<input type="checkbox"/> Agendamento automatizado em tempo real
			<input type="checkbox"/> Canais de marketing integrados
			<input type="checkbox"/> Apoio da T.I no negócio
Considerações Legais			
<input type="checkbox"/> Modelos de contratação	<input type="checkbox"/> Risco	<input type="checkbox"/> Proteção de dados	<input type="checkbox"/> Propriedade intelectual

Fonte: Adaptado de Agca *et al.* (2017, pp. 3-19)

Produtos e Serviços: um dos pilares centrais da Indústria 4.0 é a presunção de que um "tamanho de lote de 1" pode ser produzido com o mesmo custo unitário de um produto produzido em massa, pois acredita-se que, no futuro, os clientes valorizarão os níveis crescentes de personalização do produto (AGCA *et al.*, 2017, p. 6). Para isso, será necessário um processo produtivo de diferenciação tardia, ou seja, que o produto consiga ser alterado nas etapas finais da sua produção. Segundo os autores, os produtos devem ser capazes de se conectar com o cliente para oferecer

serviços baseados em dados. Além disso, um dispositivo habilitado digitalmente também permitirá a coleta de dados do usuário, que podem ser usados para oferecer mais serviços de adição de valor (uso de dados do produto) (AGCA *et al.*, 2017, p. 6). Em última análise, isso pode levar a um modelo de negócios em que a receita é dividida entre a receita da compra inicial do produto físico e a receita contínua dos serviços de valor agregado. A tendência é que a parte da receita dos serviços baseados em dados aumente (AGCA *et al.*, 2017, p. 6).

Fabricação e Operações: o processo de fabricação e sua operação são o ponto central da Indústria 4.0. Os produtos serão totalmente personalizados e produzidos de forma autônoma em fábricas auto otimizadoras (AGCA *et al.*, 2017, p. 8). Segundo os autores, é um ambiente em que o *cyber* e o físico são integrados e habilitados para IoT que permitirá a coleta de dados para planejar, otimizar e controlar a operação física. A otimização é ativada por meio de modelagem digital usando dados reais. Portanto, os critérios-chaves para essa dimensão são: integração tecnológica, ambiente de trabalho autônomo, dados e capacidade dos recursos (AGCA *et al.*, 2017, p. 8).

Estratégia e Organização: nesta dimensão, é fundamental que a liderança compreenda os benefícios relacionados à Indústria 4.0 e estejam dispostos a investir. A implementação bem-sucedida também requer apoio interfuncional tanto a nível estratégico como operacional, adotando medições relevantes e formas colaborativas de trabalho (AGCA *et al.*, 2017, p. 10). Os departamentos precisarão estar abertos à colaboração entre as áreas para promover melhorias. Conforme os autores, as empresas precisarão de funcionários com o conhecimento e os recursos digitais desenvolvidos para converter a estratégia em ações, por isso treinamentos devem fazer parte da agenda. As empresas precisam incorporar o conceito da Indústria 4.0 em funções e níveis de negócios, garantindo que os KPI's internos e o retorno do investimento (AGCA *et al.*, 2017, p. 10).

Cadeia de Suprimentos: para garantir que os clientes se beneficiem de melhores serviços e flexibilidade, as empresas precisarão ser capazes de responder imediatamente às mudanças no ambiente de mercado e aos requisitos individuais dos clientes (AGCA *et al.*, 2017, p. 12). A implementação da Indústria 4.0 proporcionará melhor visibilidade da demanda futura e dos estoques em toda a cadeia de

suprimentos. Serão obtidas informações em tempo real sobre a localização do produto, capacidade, inventário e operações em toda a cadeia de suprimentos, permitindo o compartilhamento de informações ao longo da cadeia com fornecedores e uma melhor resposta às necessidades dos clientes (AGCA *et al.*, 2017, p. 12).

Modelo de Negócio: a transformação de produtos em serviços possui, cada vez mais, implicações nos modelos de negócios das empresas ("*as a service model*"). (AGCA *et al.*, 2017, p. 14). Segundo os autores, o Reino Unido viu uma mudança da propriedade total de um carro (um produto) para um serviço. Um pagamento mensal assegura o acesso dedicado a um carro, por um determinado número de milhas por ano, com manutenção acordada e recuperação de avarias (AGCA *et al.*, 2017, p. 14). A próxima etapa da evolução é a visão da "mobilidade como serviço", que questiona a necessidade de acesso dedicado a um carro. Tais provisões podem depender do rastreamento em tempo real do produto e do agendamento automatizado e em tempo real das atividades de manutenção (AGCA *et al.*, 2017, p. 14).

Considerações Legais: foram identificadas quatro dimensões legais para avaliação: modelos de contratação, risco legal, dados e propriedade intelectual (AGCA *et al.*, 2017, p. 16). Como resultado da adoção da Indústria 4.0, os modelos de contratação estão sendo desafiados, particularmente os modelos tradicionais. Há uma necessidade de mudança cultural e legal para alteração de acordos mais colaborativos, com abertura para o compartilhamento de risco e recompensa (AGCA *et al.*, 2017, p. 16). A geração e fluxo de dados é um elemento fundamental da Indústria 4.0 e um facilitador para a criação de valor. No entanto, a proteção adequada e o uso de dados (tanto de propriedade quanto de propriedade de terceiros) são essenciais tanto para o funcionamento da Indústria 4.0 quanto para a realização do valor dos dados. Segundo os autores, a identificação, proteção e exploração da propriedade intelectual sempre foi de extrema importância para as empresas distinguirem seus produtos e serviços dos de seus concorrentes. A adoção da Indústria 4.0 coloca essas questões em foco e expande a gama de direitos a serem considerados, em particular a interação com os direitos de propriedade intelectual de terceiros (AGCA *et al.*, 2017, p. 16).

Em relação a avaliação das empresas, os autores desenvolveram um questionário *on-line*. A Tabela 6 ilustra um exemplo de questão encontrada referente à dimensão de Produtos e Serviços, nela são apresentadas as sub dimensões e como a empresa se comporta em cada nível.

Tabela 6 - Exemplo de questão para medir a maturidade da dimensão “Produtos e Serviços”

Nível de maturidade	Nível 1 Iniciante	Nível 2 Intermediário	Nível 3 Especialista	Nível 4 Expert
Personalização do produto	O produto não permite ser fabricado individualmente, a sua produção ocorre de forma padronizada e em massa	Boa parte dos produtos são feitos em grandes lotes com diferenciação tardia limitada (aquela que ocorre ao final da cadeia de produção)	Os produtos podem ser amplamente personalizados, mas ainda têm base padronizada	Diferenciação tardia (aquela que ocorre ao final da cadeia de produção) disponível para a maioria dos produtos sob encomenda (tamanho do lote 1)
Recursos digitais de produto	Produtos mostram apenas valor físico	Os produtos mostram valor apenas para licenciamento de propriedade intelectual (patente)	Produtos exibem algumas características digitais e valor para licenciamento de propriedade intelectual (patente)	Produtos exibem altos recursos digitais e valor para licenciamento de propriedade intelectual (patente)
Serviços dirigido por dados	Serviços dirigido por dados são oferecidos sem integração com o cliente	Serviços dirigido por dados são oferecidos com pouca integração com o cliente	Serviços dirigido por dados são oferecidos com pouca integração com o cliente	Serviços dirigido por dados são totalmente integrados ao cliente
Nível de uso de dados do produto pela empresa	Não são usados e nem coletados dados do usuário por meio do uso do produto	0-20% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados	20-50% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados	Mais de 50% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados
Participação da receita	Os serviços baseado em dados são responsáveis por uma participação inicial de receita (<2,5%)	Os serviços baseados em dados representam uma parte moderada da receita (2,5 a 7,5%)	Os serviços baseados em dados são responsáveis por uma parcela significativa da receita (7,5 a 10%)	Os serviços baseados em dados desempenham um papel importante na receita (> 10%)

Fonte: Adaptado de Agca *et al.* (2017, p. 6)

As demais dimensões seguem o mesmo padrão explicitado na Tabela 6. Com os níveis descritos para cada sub dimensão, o preenchimento do questionário torna-se mais objetivo para o entrevistado.

e. *Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy* (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKAN, 2018)

O presente modelo foi criado por pesquisadores da Universidade Técnica de Istambul e é um artigo publicado no livro “*Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*”. Foi elaborado em consideração a outros quatro modelos distintos de maturidade. Ele inclui um total de 13 campos associados que são agrupados em 3 dimensões, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Modelo de maturidade em Indústria 4.0 proposto

Dimensão	Sub dimensão	Campos associados
Produtos e Serviços inteligentes	-	Produtos e serviços inteligentes
Processos de Negócio Inteligentes	Produção e operações inteligentes	Produção, logística e aquisição
		P&D - Desenvolvimento de produtos
	Marketing e operações de vendas inteligentes	Serviço de pós-venda
		Preços / promoção
		Canais de vendas e distribuição
	Operações de apoio	Recursos humanos
		Tecnologias da informação
		Finanças inteligente
Estratégia e Organização	-	Modelos de negócios
		Parcerias estratégicas
		Investimentos em tecnologia
		Estrutura organizacional e liderança

Fonte: Adaptado de Akdil; Ustundag; Cevikcan (2018, p. 69)

O modelo também faz uso de um questionário que contém 68 questões. Cada campo associado no modelo de maturidade é pontuado de zero a três pontos, em que o nível 0 representa “Ausência”, o nível 1 “Existência”, o nível 2 “Sobrevivência” e o nível 3 “Maturidade”.

Nível 0 – Ausência: identifica um nível de uma empresa que não atende a nenhum dos requisitos da Indústria 4.0 (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 69).

Nível 1 – Existência: é um nível de maturidade em que a empresa possui algumas iniciativas piloto para gerar modelos de negócios ou transformar um modelo atual. A empresa fornece produtos, mas esses produtos não são capazes de serem totalmente inteligentes (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 69). Os níveis de integração e automação são baixos e os níveis de coleta e uso de dados não são suficientes para realizar a transformação da Indústria 4.0. Segundo os autores, as tecnologias digitais e a nuvem não foram implementadas em todas as operações. A alta gerência está considerando implementar a estratégia da Indústria 4.0 com investimentos em algumas áreas (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 69).

Nível 2 – Sobrevivência: é um nível de maturidade em que os produtos da empresa são capazes de gerenciar dados em tempo real e serem rastreados em

diferentes locais (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 70). Conforme os autores, os processos estão prontos para descentralização e princípio de interoperabilidade é implementado em algumas áreas da empresa com suporte de tecnologias digitais. A liderança está desenvolvendo planos para a Indústria 4.0 e fez investimentos em algumas áreas (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 70).

Nível 3 – Maturidade: os produtos da empresa são definidos como inteligentes e os serviços dirigidos por dados são fornecidos de alto nível (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 70). Existem um alto nível de integração entre os processos de negócios da empresa com coleta e compartilhamento de dados. Quase todos os processos são capazes de ser descentralizados e o princípio da interoperabilidade é implementado em várias áreas da empresa com suporte de tecnologias digitais avançadas (AKDIL; USTUNDAG; CEVIKCAN, 2018, p. 70). A equipe de liderança oferece amplo suporte para a Indústria 4.0 e fez investimentos para quase todos os departamentos.

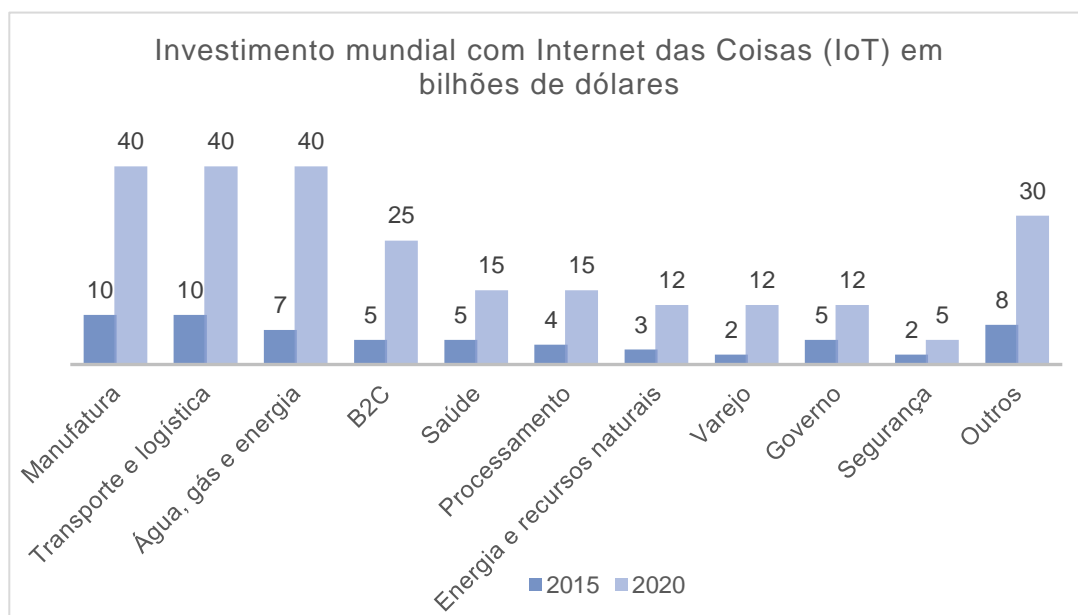
O artigo também apresenta um estudo de caso no setor de varejo em que o modelo foi aplicado.

2.5 Indústria 4.0: implicações na gestão logística

As tecnologias da Indústria 4.0 permitem que as organizações planejem melhor a demanda e gerenciem com mais precisão os estoques. Isso se deve, em parte, à maior rastreabilidade de produtos integrados às tecnologias conectadas (MARIANI; QUASNEY; RAYNOR, 2015, p. 125).

Os segmentos que as empresas de manufatura enxergam ter o maior potencial de beneficiar-se da Indústria 4.0 são, em primeiro lugar, pesquisa e desenvolvimento com 78%, seguido pela armazenagem e logística com 76% (DELOITTE, 2014, p. 16). É previsto que até 2020 os investimentos em IoT, na área de logística e transporte, quadruplicam, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Investimento mundial em IoT em bilhões de dólares



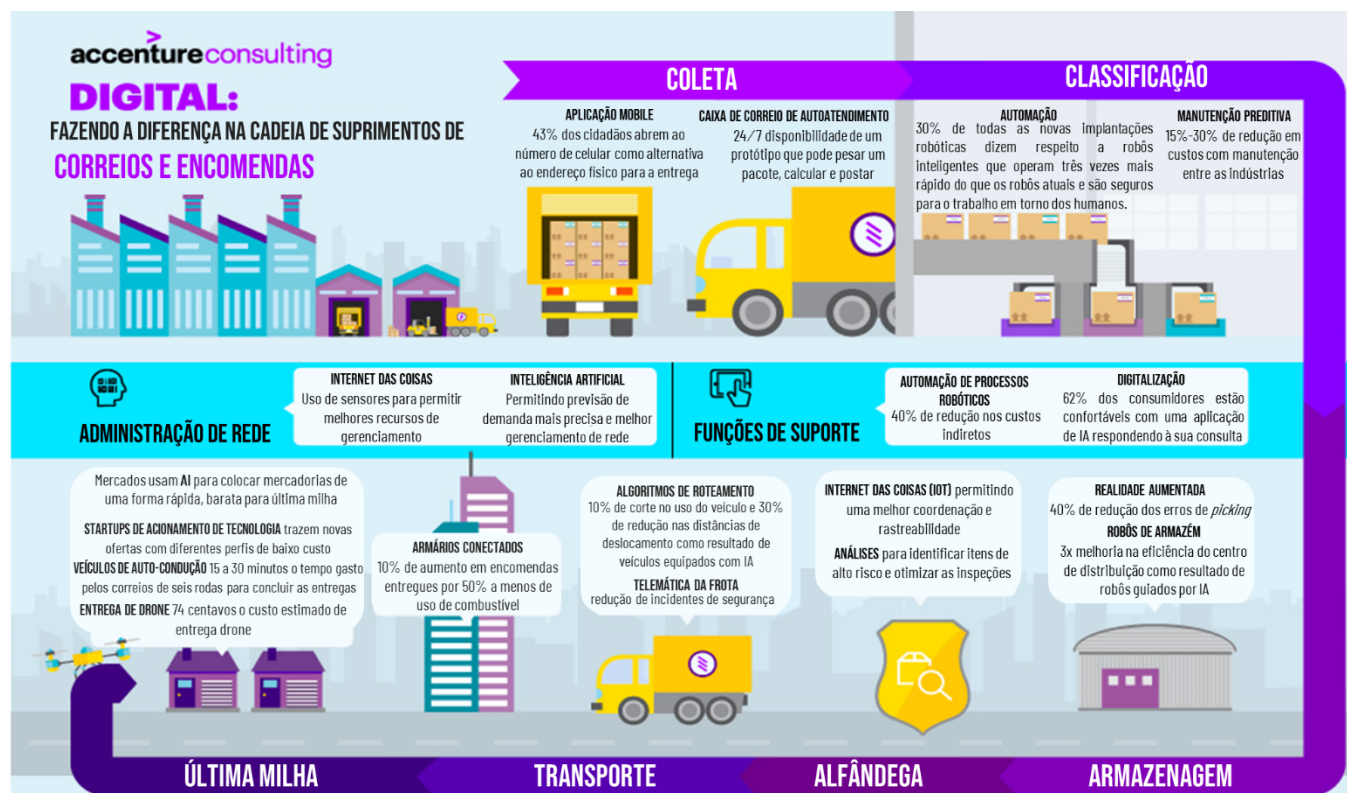
Fonte: Adaptado de Statista (2018)

Os dados apresentados só corroboram o potencial de transformação que a Indústria 4.0 terá sobre os setores de logística e transporte.

Segundo Hofmann e Rüsch (2017, p. 25) a gestão logística será afetada pela Indústria 4.0 em dois aspectos. O primeiro diz respeito à dimensão física da cadeia de suprimentos com o emprego de subsistemas logísticos autônomos e autocontrolados, como transporte (através de caminhões autônomos), rotatividade (robôs de coleta de peças) e processamento de pedidos (contratos inteligentes na tecnologia *blockchain*). O segundo compreende a dimensão digital da cadeia de suprimentos: coleta de dados do maquinário por meio de sensores (IoT) e transmissão desses dados a uma camada de conectividade ou nuvem.

Um estudo feito pela Accenture (2017) mostra as possíveis mudanças que ocorrerão ao longo da cadeia de suprimentos, conforme observado na Figura 15.

Figura 15 – Futuras transformações na cadeia de suprimentos logística



Fonte: Adaptado de Accenture (2017)

De acordo com o relatório da Accenture (2017, p. 12), em se tratando do processo de armazenagem, destacam-se dois pontos: o uso da inteligência artificial em robôs para potencializar a eficiência de movimentações e a força de trabalho provida com informações e orientações em tempo real para melhorar a produtividade, reduzir erros e minimizar a burocracia.

No contexto industrial, um sistema de gestão de armazenagem tem como objetivo é controlar e registrar o fluxo de materiais e informações, de modo a maximizar o uso do espaço no armazém e otimizar o desempenho das atividades relacionadas à logística (ASSIS; SAGAWA, 2018). A seguir, serão detalhados os princípios de funcionamento de um sistema de gestão de armazenagem.

Sistemas de gestão de armazenagem

Os armazéns exercem um papel fundamental para aumentar a eficiência da movimentação de mercadorias, uma vez que compensam, de maneira eficaz, os custos de estocagem, possibilitando menores custos de transporte, ao mesmo tempo

em que mantém ou melhoram o nível de serviço (BALLOU, 2014). Segundo Banzato (2005), o sistema de gestão de armazém permite o aprimoramento e a integração entre atividades operacionais e administrativas, em que estão inclusos todos os setores e tarefas relacionadas à movimentação de materiais.

A Indústria 4.0 já está introduzindo mudanças notáveis na forma como os armazéns funcionam atualmente, principalmente com a adoção do gerenciamento “inteligente” durante a implementação do sistema de gestão de armazenagem e ao longo da cadeia de suprimentos (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017, p. 1249). Ainda segundo os autores, a integração entre os diferentes atores e partes interessadas da cadeia de fornecimento garante a coordenação e alinhamento entre todas as camadas da cadeia de valor.

Portanto, como exemplo, os transportes poderão comunicar sua posição e prever o horário de chegada ao sistema inteligente de gerenciamento de armazém, que poderá selecionar e preparar, previamente, a posição de armazenagem do produto, otimizando a entrega *just-in-time* e *just-in-sequence*. Simultaneamente, os sensores RFID revelarão o que foi entregue e enviarão os dados de rastreamento e rastreio para toda a cadeia de suprimentos (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017, p. 1249).

A utilização de coletores de dados através de códigos de barras, a comunicação *on-line* por rádio frequência e o uso de equipamentos automatizados controlados pelo sistema são fatores essenciais para uma maior velocidade nas transações de estoque e um alto grau de acuracidade. (MARTINS *et al.*, 2010).

Ainda segundo o autor Martins *et al.* (2010), os maiores benefícios do uso de um sistema de gestão de armazenagem é o aumento da produtividade do pessoal e dos equipamentos do depósito. Isto se deve ao fato de que o sistema, por possuir um princípio de convocação ativa, proporciona redução com custo de pessoal, os mesmos equipamentos conseguem realizar um número maior de movimentações em relação ao sistema tradicional (MARTINS *et al.*, 2010). Para Jin *et al.* (2013). Assim, o sistema de gestão de armazenagem reduz custos de gerenciamento, melhora a taxa de utilização da equipe e do equipamento e encurta o fluxo de trabalho.

4 PESQUISA-AÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento da pesquisa-ação. Primeiramente, foi feita uma breve descrição da empresa e o motivo pelo qual ela foi escolhida como objeto de estudo. Em seguida, explicitou-se os critérios utilizados para escolha do modelo de maturidade em Indústria 4.0 e o processo de aplicação na companhia.

A partir do resultado encontrado, foi analisada uma das estratégias digitais da empresa de implementar um sistema de gestão de armazenagem e discutidas as modificações e benefícios gerados.

Com isso, foram identificadas as dimensões que alcançaram um nível maior de maturidade em Indústria 4.0 devido a essa estratégia digital e o quanto ela impactou no resultado geral de maturidade da empresa.

4.1 Contextualização da empresa

A pesquisa-ação foi conduzida em uma fabricante e distribuidora de bebidas de grande porte. A fábrica se consolidou em 1989 e atende cerca de 21 mil clientes entre bares, mercados, restaurantes, farmácias e grandes atacadistas.

Os produtos comercializados englobam mais de 200 SKU's (*Stock Keeping Unit*) e são divididos em três segmentos: carbonatados, que são de fabricação própria; *still* (sucos, chás e energéticos) e a cerveja. Estas duas últimas categorias fazem parte do recebimento de terceiros, ou seja, são fabricadas por outras franquias e é de responsabilidade da empresa apenas o armazenamento, a comercialização e a distribuição.

O estudo buscou avaliar todas as áreas relacionadas às dimensões da Indústria 4.0 com foco no processo de armazenagem da empresa.

4.2 Critérios para escolha do modelo de maturidade

Para escolha do melhor modelo de maturidade em Indústria 4.0, utilizou-se o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*), conforme explicitado na metodologia deste trabalho. Dessa forma, foram obedecidos os seguintes passos:

1- Definição do objetivo geral;

O objetivo geral da aplicação do método AHP é escolher o melhor modelo de maturidade em Indústria 4.0

2- Definição clara dos critérios de análise;

Critério 1 – Metodologia clara. Neste critério, será avaliado se a metodologia do autor está bem esclarecida e embasada e se a forma de cálculo de cada dimensão está disponível.

Critério 2 – Questionário disponível. Não faz parte do escopo deste trabalho criar ou adaptar um questionário para medir o nível de maturidade em Indústria 4.0. Dessa forma, é essencial que esteja disponível o questionário para mensuração da maturidade no modelo proposto pelos autores.

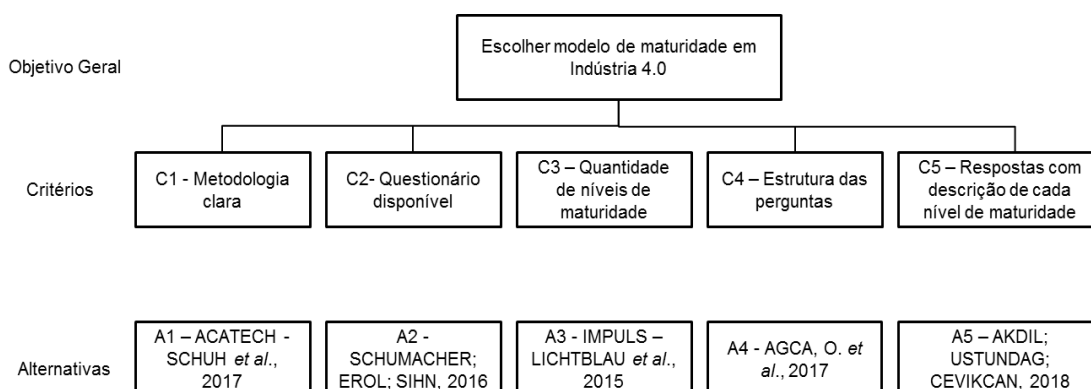
Critério 3 – Quantidade de níveis de maturidade. Neste critério, quanto menor for a quantidade de níveis de maturidade proposto pelo modelo, menor será o nível de precisão em relação à realidade da empresa. Dessa forma, a partir do diagnóstico nível de maturidade atual dela, ela decidir aplicar novas tecnologias e melhorias, se o modelo tiver poucos níveis, provavelmente a companhia pode continuar no mesmo nível após as mudanças e não perceber nenhum tipo de avanço. Por outro lado, se o modelo contiver mais níveis de maturidade, a empresa conseguirá perceber avanços graduais, a partir das melhorias implementadas.

Critério 4 – Estrutura das perguntas. Neste critério, leva-se em consideração a forma como as perguntas são construídas. É necessário que elas sejam de fácil entendimento e que as suas respostas estejam estruturadas de forma hierárquica, ou seja, de acordo com os níveis de maturidade propostos na metodologia. Além disso, o questionário não deve conter muitas perguntas de “sim” ou “não”, pois isso dificulta a mensuração da maturidade.

Critério 5 – Respostas com descrição de cada nível de maturidade. Com os níveis descritos para cada dimensão, o preenchimento do questionário torna-se mais objetivo para o entrevistado, uma vez que ele consegue visualizar as características requeridas e posicionar corretamente a empresa em relação aquele aspecto.

Figura 16 sumariza o objetivo geral, os critérios e as alternativas de modelo de maturidade escolhidas.

Figura 16 - Árvore AHP



Fonte: Autoria própria (2019)

- 3- Estabelecimento de prioridades para os critérios principais associando pesos relativos a eles e geração de uma matriz recíproca de comparação pareada, tendo como base a escala de julgamentos, vide Tabela 1;

Tabela 8 - Matriz de julgamentos

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/7	3	1	1/3
C2	7	1	9	5	5
C3	1/3	1/9	1	1/3	1
C4	1	1/5	3	1	1/3
C5	3	1/5	1	3	1
Total:	12,33	1,65	17,00	10,33	7,67

Fonte: Autoria própria (2019)

Como a Indústria 4.0 e os modelos de maturidade são áreas de estudo muito recentes, não se encontram, com facilidade, especialistas no Brasil. Portanto, a

definição dos critérios e os julgamentos em relação a sua relevância foram aferidas por meio de reuniões com o professor orientador da pesquisa e a autora.

- 4- Cálculo do auto vetor, dado pela média geométrica de cada um dos critérios;
- 5- Normalização do auto vetor;

Tabela 9 - Cálculo do auto vetor e normalização

	C1	C2	C3	C4	C5	Auto Vetor	Normalização
C1	1	1/7	3	1	1/3	0,678	9,3%
C2	7	1	9	5	5	4,360	59,7%
C3	1/3	1/9	1	1/3	1	0,415	5,7%
C4	1	1/5	3	1	1/3	0,725	9,9%
C5	3	1/5	1	3	1	1,125	15,4%
Total:	12,33	1,65	17,00	10,33	7,67	7,302	100%

Fonte: Autoria própria (2019)

- 6- Cálculo do Índice de Consistência (IC)

$$IC = \frac{5,31 - 5}{5 - 1} = 0,087$$

- 7- Cálculo da Razão de Coerência (RC)

$$RC = \frac{0,087}{1,11} = 7,84\%$$

Como o valor de RC é menor que 10%, então os pesos dados aos critérios estão coerentes.

A partir dos resultados encontrados, observa-se que o critério 2 (questionário disponível) foi o que apresentou maior peso (59,7%). Este valor é coerente, uma vez que sem o questionário, não seria possível aplicar o modelo de maturidade em Indústria 4.0.

- 8- Verificação dos critérios para cada alternativa, seguindo os passos 4,5, 6, 7;

Para cada critério, foi realizada uma avaliação em relação às alternativas de modelo. As Tabelas 10, 11 e 12, ilustram o procedimento realizado.

Tabela 10 - Matriz pareada das alternativas com o critério 1

C1 - Metodologia clara	A1	A2	A3	A4	A5	Auto Vetor	Normalização
A1	1	5	3	3	7	3,160	47,1%
A2	1/5	1	1/3	1	5	0,803	12,0%
A3	1/3	3	1	1	5	1,380	20,6%
A4	1/3	1	1	1	5	1,108	16,5%
A5	1/7	1/5	1/5	1/5	1	0,258	3,8%
Total:	2,0	10,2	5,5	6,2	23,0	6,708	100,0%

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 11 - Matriz pareada das alternativas com o critério 2

C2 - Questionário disponível	A1	A2	A3	A4	A5	Auto Vetor	Normalização
A1	1	1	1/5	1/9	1/7	0,316	4,4%
A2	1	1	1/5	1/9	1/7	0,316	4,4%
A3	5	5	1	5	1/3	2,108	29,6%
A4	9	9	1/5	1	5	2,408	33,8%
A5	7	7	3	1/5	1	1,966	27,6%
Total:	23,0	23,0	4,6	6,4	6,6	7,116	100%

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 12 - Matriz pareada das alternativas com o critério 3

C3 - Quantidade de níveis de maturidade	A1	A2	A3	A4	A5	Auto Vetor	Normalização
A1	1	3	3	5	7	3,160	46,6%
A2	1/3	1	1	3	5	1,380	20,3%
A3	1/3	1	1	3	5	1,380	20,3%
A4	1/5	1/3	1/3	1	3	0,582	8,6%
A5	1/7	1/5	1/5	1/3	1	0,286	4,2%
Total:	2,0	5,5	5,5	12,3	21,0	6,787	100%

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 13 - Matriz pareada das alternativas com o critério 4

C4 - Estrutura das perguntas	A1	A2	A3	A4	A5	Auto Vetor	Normalização
A1	1	3	7	1/5	5	1,838	22,3%
A2	1/3	1	5	1/7	5	1,035	12,5%
A3	1/5	1/5	1	1/9	1/3	0,272	3,3%
A4	5	7	9	1	7	4,663	56,5%
A5	1/5	1/5	3	1/7	1	0,443	5,4%
Total:	6,7	11,4	25,0	1,6	18,3	8,252	100%

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 14 - Matriz pareada das alternativas com o critério 5

C5 - Respostas com descrição de cada nível de maturidade	A1	A2	A3	A4	A5	Auto Vetor	Normalização
A1	1	7	5	1/5	3	1,838	23,7%
A2	1/7	1	1/3	1/7	1/5	0,267	3,5%
A3	1/5	3	1	1/7	1/3	0,491	6,3%
A4	5	7	7	1	5	4,146	53,5%
A5	1/3	5	3	1/5	1	1,000	12,9%
Total:	6,7	23,0	16,3	1,7	9,5	7,743	100%

Fonte: Autoria própria (2019)

Em relação ao primeiro critério (C1), o modelo proposto pelos autores Schuh *et al.* (2017) se destacou, pois, além de possuir as descrições de cada um dos estágios de maturidade em Indústria 4.0 como os demais modelos, também apresenta um modelo estruturado que permite ser aplicado em diferentes áreas funcionais da empresa. Outro ponto de relevância é que, após o diagnóstico do atual estágio de maturidade, a metodologia propõe identificar as capacidades e recursos que necessitam de desenvolvimento e traçar um roteiro com estratégias digitais para atingir o nível de maturidade maior desejado pela empresa.

O segundo critério (C2), considerado o mais crítico, diz respeito à disponibilidade do questionário. Os modelos 1 e 2, apesar do destaque positivo da metodologia, não possuem questionários disponíveis. Os modelos 3, 4, 5 receberam uma pontuação parecida, por possuírem questionários, com destaque para o modelo 4 que apresentou o mais estruturado e aplicável à realidade da empresa da pesquisa-ação, uma vez que era destinado a empresas de manufatura e de médio e grande

porte. O terceiro critério (C3) é referente a quantidade de níveis de maturidade que o modelo apresenta. Novamente, o modelo 1 de Schuh *et al.* (2017) recebeu a maior pontuação, porque é o que possui maior quantidade de níveis (6 ao total).

A Tabela 13 apresenta o critério de estrutura das perguntas (C4). O modelo 4 foi líder nessa categoria, pois foi o questionário que teve as perguntas de mais fácil entendimento. Além disso, as respostas eram estruturadas em hierarquias, de acordo com os níveis de maturidade propostos na metodologia, com a descrição de cada nível. O modelo 1 e 2 também apresentaram uma boa pontuação, pois na pergunta dada pelos autores como exemplo, as respostas também eram hierarquizadas e de fácil compreensão. Os modelos 3 e 5 continham perguntas que não possuíam um propósito claro, o que trazia dificuldades na interpretação do entrevistado ao longo da aplicação do questionário. Ademais, também possuíam algumas perguntas de “sim” ou “não”.

Por fim, o último critério (C5) buscava avaliar se as respostas das perguntas do questionário estavam em formato hierarquizado e com a descrição de cada nível de maturidade. O modelo 4 foi o único que apresentou o questionário completo e neste formato. O modelo 1 também recebeu uma pontuação relevante, pois na pergunta exemplo disponibilizada pelos autores, os níveis também estavam hierarquizados e descritos. O modelo 2 apresentou a pior pontuação, pois, apesar de estar hierarquizado, cabia ao entrevistado identificar qual nível a empresa estava em relação àquela dimensão, tornando as respostas do questionário muito subjetivas.

9- Cálculo dos resultados para obter as prioridades finais (vetor de decisão);

Tabela 15 - Matriz de decisão

	C1	C2	C3	C4	C5	Vetor de Decisão
Auto Vetor Normalizado dos Critérios	9,3%	59,7%	5,7%	9,9%	15,4%	100,0%
A1	47,1%	4,4%	46,6%	22,3%	23,7%	15,54%
A2	12,0%	4,4%	20,3%	12,5%	3,5%	6,70%
A3	20,6%	29,6%	20,3%	3,3%	6,3%	22,06%
A4	16,5%	33,8%	8,6%	56,5%	53,5%	36,08%
A5	3,8%	27,6%	4,2%	5,4%	12,9%	19,62%

Fonte: Autoria própria (2019)

Apesar do modelo 1 ter sido líder em alguns critérios, o modelo 4, de AGCA *et al.* (2017), foi o escolhido como melhor para ser aplicado na pesquisa-ação, com 36,08% de relevância. Isto ocorre pois ele cumpriu os dois principais requisitos propostos: disponibilidade do questionário (59,7%) e respostas com descrição de cada nível de maturidade (15,4%). O modelo 3 apresentou a segunda melhor pontuação. No entanto, apesar de possuir uma metodologia muito embasada, ao analisar o questionário, notou-se que existiam algumas perguntas muito superficiais e que não estavam estruturadas da forma esperada, uma vez que continha perguntas muito vagas e não tinha uma forma de cálculo padronizada.

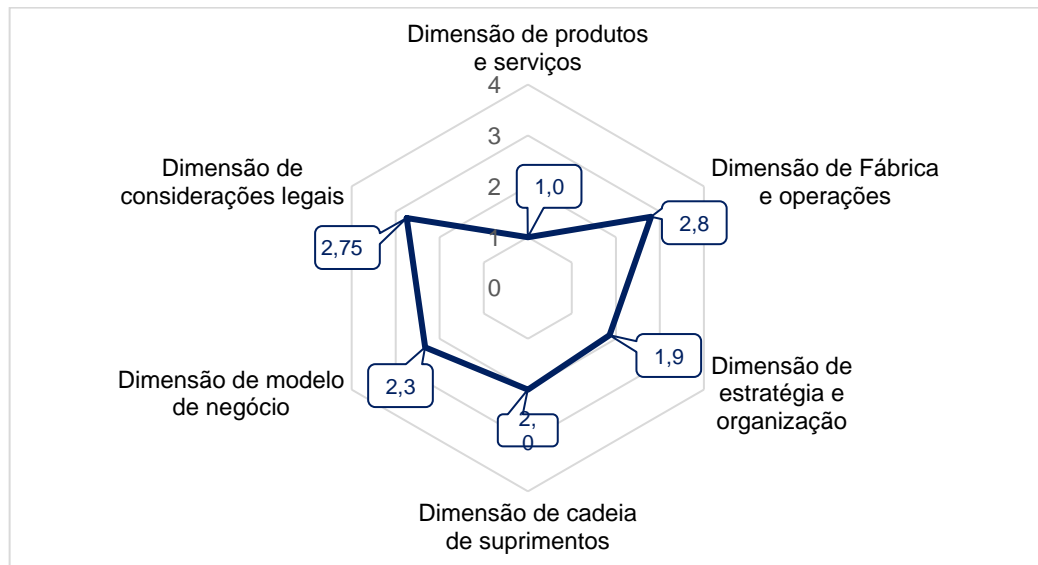
4.3 Aplicação do modelo escolhido

O modelo escolhido para a pesquisa-ação foi o dos autores AGCA *et al.* (2017). A primeira etapa consistiu na tradução do questionário, vide Anexo I. Em seguida, as seis dimensões foram divididas entre as áreas correspondentes da empresa para facilitar o processo de aplicação.

Foram conduzidas reuniões com as áreas Comercial, Logística, Engenharia Industrial, Financeiro, Suprimentos e T.I. O questionário, com 37 questões, foi preenchido juntamente com os gestores para sanar possíveis dúvidas durante a aplicação. Apesar do questionário ter sido dividido em departamentos, todas as perguntas foram revisitadas com todos os líderes, com o objetivo de ratificar as respostas.

O resultado geral de maturidade da companhia em relação à Indústria 4.0 foi de 2,12 em 4 níveis, sendo considerada “Intermediária” na escala proposta pelos autores. A Figura 17 apresenta a nota encontrada para cada uma das seis dimensões.

Figura 17 - Resultado geral da maturidade da empresa por dimensão



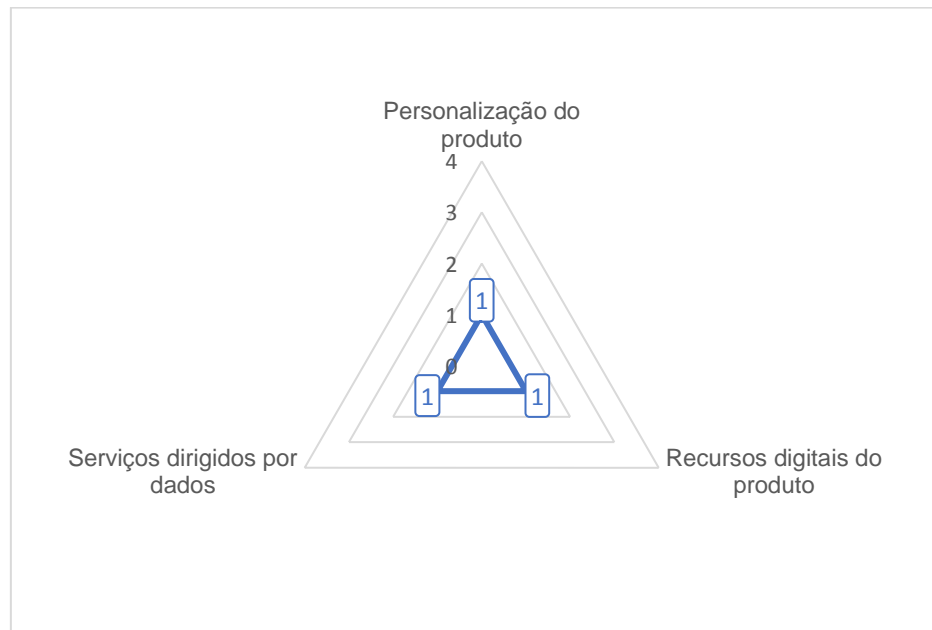
Fonte: Autoria própria (2019)

A primeira dimensão avaliada foi a de Produtos e Serviços, observa-se que ela foi a que obteve a pior nota. Isto se deve ao fato de que duas das cinco sub dimensões presentes não se aplicavam à realidade da empresa e, portanto, não puderam ser contabilizadas na média.

O produto fabricado é um bem de consumo que possui apenas valor físico. Diferentemente de dispositivos eletrônicos, por exemplo, o produto não possui ainda um processo produtivo que permite a personalização e nem que dados do usuário sejam coletados por meio do seu uso. Dessa forma, todas as suas sub dimensões obtiveram nota 1 (Iniciante), conforme apresentado na Figura 18.

A empresa, no entanto, já faz alguns planos para que isso seja possível no futuro, como a customização do rótulo do refrigerante da maneira como o cliente desejar, por exemplo. Dessa forma, ele necessitaria uma plataforma digital, inseriria a frase pretendida e teria a possibilidade de ter o produto personalizado. No entanto, isto ainda não é financeiramente viável para companhia.

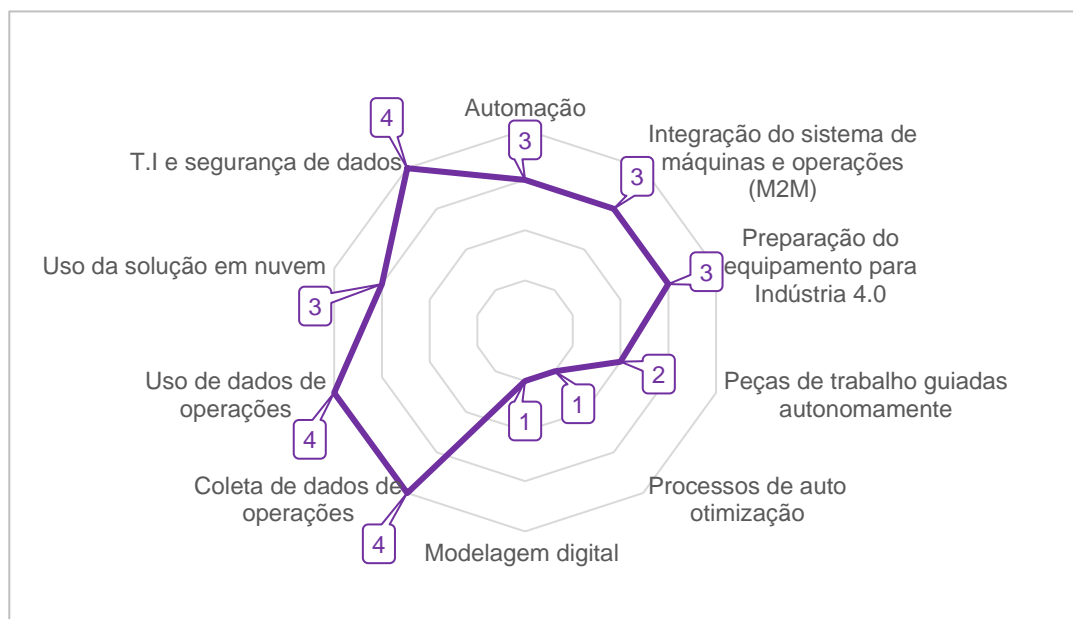
Figura 18 - Resultado da dimensão de Produtos e Serviços



Fonte: Autoria própria (2019)

A próxima dimensão foi a de Fabricação e Operações, que obteve a maior pontuação (2,8) sendo ainda classificada como intermediária, porém próxima ao nível de experiente. Foram avaliadas 10 sub dimensões, conforme ilustrado pela Figura 19.

Figura 19 – Resultado da dimensão de Fábrica e Operações



Fonte: Autoria própria (2019)

A maioria do maquinário referente ao principal processo produtivo pode ser controlado por meio da automação, com exceção apenas da caldeira. Além disso, as máquinas e sistemas são parcialmente integrados, estima-se que 98% dos dados da linha de produção são coletados e controlados de maneira digital e automatizada. Todos os dados são utilizados não apenas para otimizar os processos, mas também para tomada de decisão dos gestores. No entanto, os processos de auto otimização do maquinário ainda não estão em uso.

Em relação ao critério de preparação do equipamento para Indústria 4.0, todas as máquinas possuem um dispositivo CPL (Controlador Lógico Programável) que permite a instalação de programas para coletar e monitorar os dados das linhas de produção. Dessa forma, se alguma alteração no maquinário for necessária para atender aos requisitos da Indústria 4.0, esta mudança poderá ser programada.

Soluções em nuvem já estão sendo implementadas em algumas áreas de negócio. Os projetos pilotos em andamento ainda exigem algumas melhorias na parte de segurança da informação, pois ter todos os dados das operações em nuvem coloca em risco a fábrica em relação a possíveis ataques de *hackers*. No entanto, as soluções de T.I já foram implementadas em todas as áreas relevantes e são revisadas com frequência para garantir a conformidade.

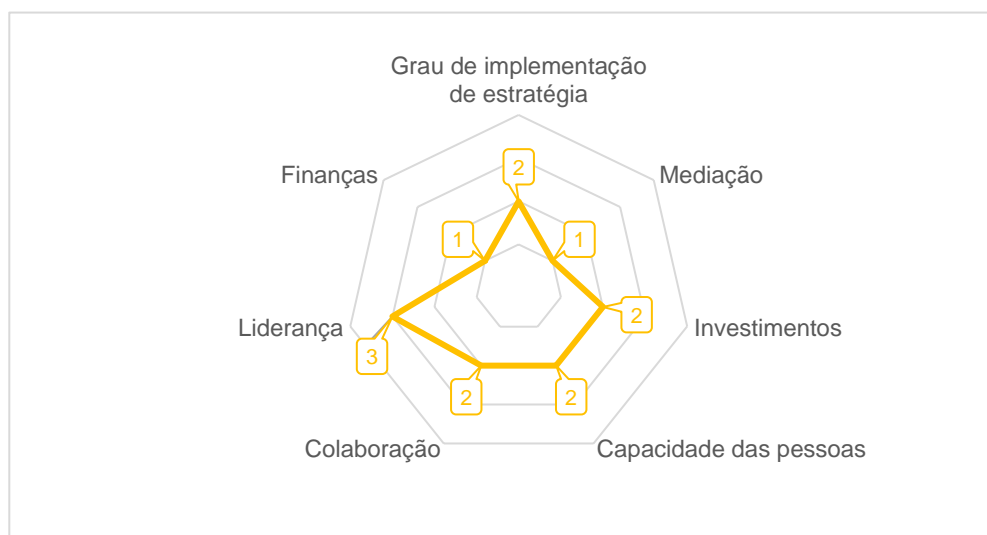
Após a dimensão de Fábrica e Operações, foi avaliada a dimensão de Estratégia e Organização, que obteve uma pontuação de 1,9 de 4. A Figura 20 mostra a nota que cada sub dimensão recebeu.

A Indústria 4.0 já está incluída na estratégia de negócios da empresa. No ano de 2019, ocorreu uma reformulação no mapa estratégico que incluiu em um dos seus pilares: “aumentar a produtividade e qualidade nos processos por meio da inovação e de um modelo de trabalho mais ágil e digital”. Dessa forma, a companhia pretende aos poucos incluir a Indústria 4.0 na rotina de trabalho dos colaboradores.

No entanto, em relação a capacidade das pessoas, ainda existe um longo processo de melhoria. Existem áreas focadas em tecnologia com funcionários que possuem algumas habilidades digitais, mas, de modo geral, principalmente a área operacional, não existe conhecimento a respeito da Indústria 4.0. A liderança, por

outro lado, já reconhece os seus benefícios financeiros e já existem investimentos em áreas mais avançadas do negócio, como a Engenharia Industrial e áreas de processo, mas nenhum que seja realmente considerável.

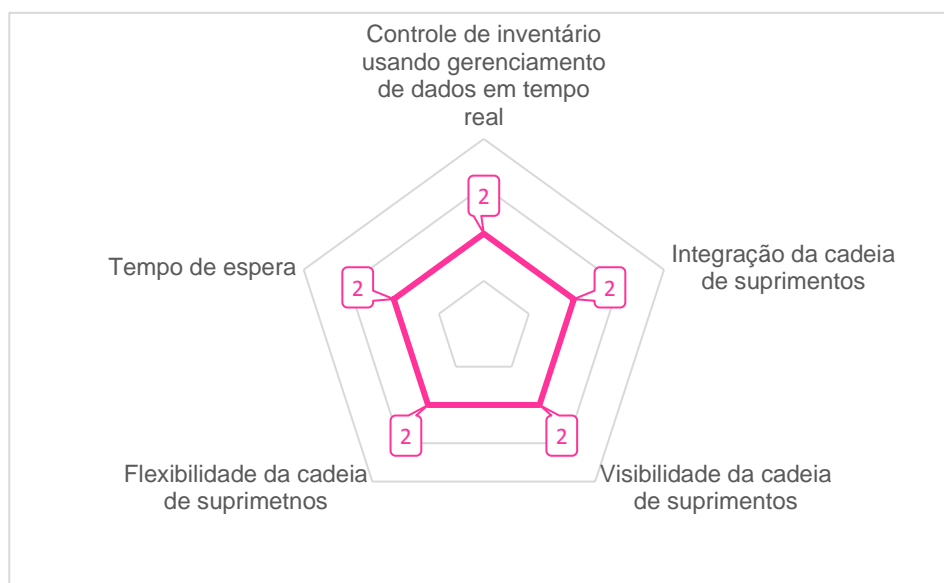
Figura 20 - Resultados da dimensão de Estratégia e Organização



Fonte: Autoria própria (2019)

A dimensão de Cadeia de Suprimentos recebeu nota 2 para todas sub dimensões resultando uma nota geral 2 de 4, conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Resultado da dimensão de Cadeia de Suprimentos



Fonte: Autoria própria (2019)

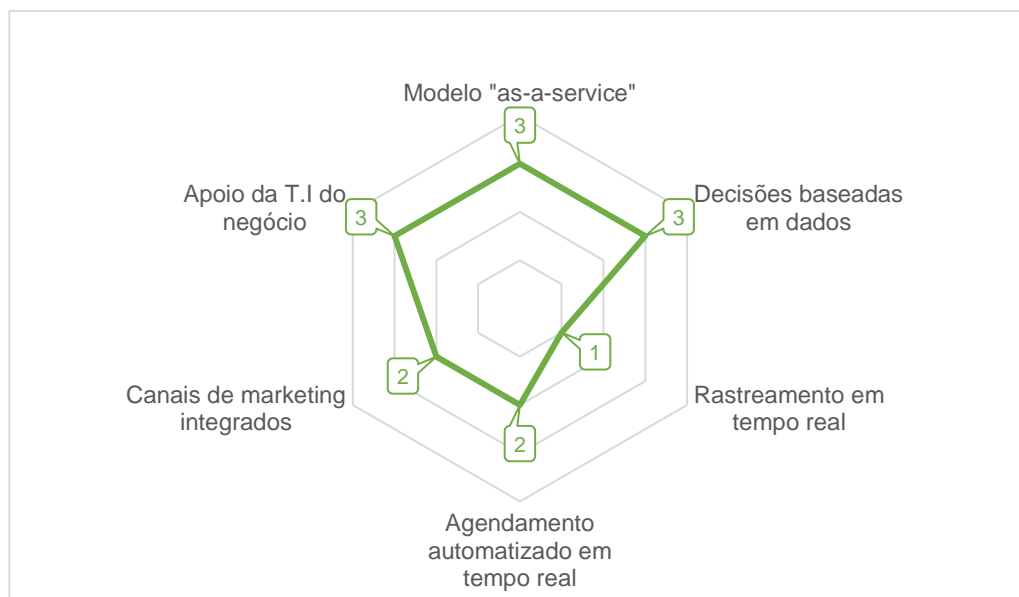
O processo de controle de inventário, atualmente, faz uso do banco de dados no computador, porém, ainda é atualizado manualmente. Este processo será detalhado melhor no próximo capítulo.

Em relação à integração da cadeia de suprimentos, existe uma comunicação básica entre clientes e fornecedores, e compartilhamento de dados é feito apenas quando requisitado. A visibilidade da cadeia de suprimentos, portanto, é restrita apenas à primeira camada de fornecedores e clientes e são compartilhadas informações básicas de inventário, capacidade e operações.

Em se tratando de flexibilidade da cadeia de suprimentos, a resposta às mudanças gerais no mercado e aos requisitos do cliente é moderada. O tempo de espera dos materiais são moderados e já foram identificadas algumas melhorias para reduzi-lo.

A penúltima dimensão avaliada foi a de Modelo de Negócios, que recebeu uma nota geral de 2,3 de 4. As notas dadas a cada sub dimensão são ilustradas pela Figura 22.

Figura 22 - Resultado da dimensão de Modelo de Negócios



Fonte: Autoria própria (2019)

A primeira sub dimensão apurada foi a de modelo “as-a-service”. Atualmente, já existem planos de alta conscientização dentro da empresa a respeito deste tipo de

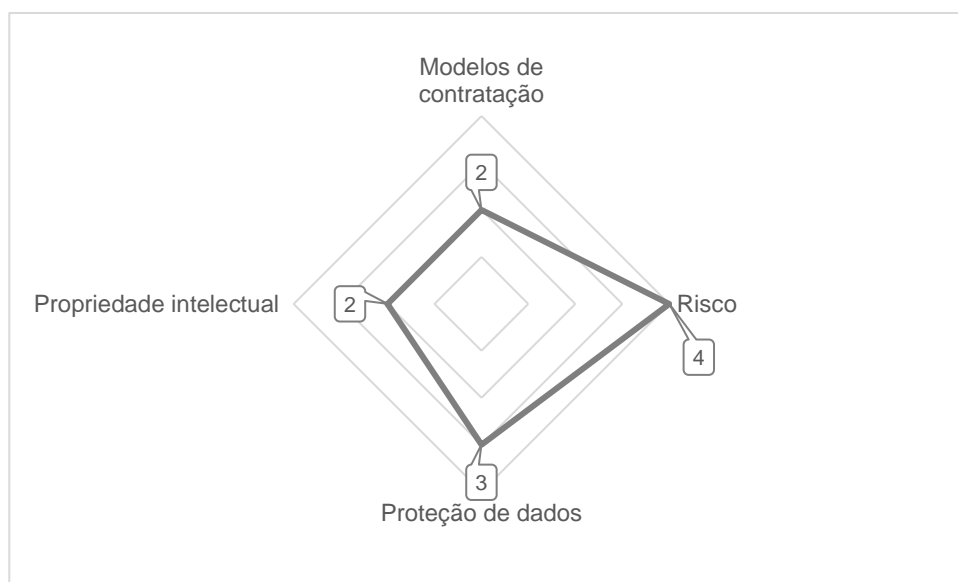
modelo e alguns planos já estão em desenvolvimento, principalmente a questão de promover experiências ao cliente no momento do consumo do produto. Em relação aos canais de marketing, existe uma integração entre os canais *on-line* e *off-line*, no entanto, a abordagem ainda não é individualizada para o cliente.

O rastreamento do produto ao longo da cadeia de valor é limitado, não existe um controle de movimentação dos produtos efetivo dentro do armazém. Quanto ao processo decisório, a maioria dos dados é analisado e considerado no momento em que as decisões são tomadas.

Em relação ao agendamento automatizado das máquinas, quando há algum problema de desempenho, elas alertam os operadores, mas a manutenção ainda é feita manualmente. Existe um suporte da T.I completo de todos os processos principais da companhia, no entanto, ele ainda não é totalmente integrado.

Por fim, a última dimensão avaliada foi a de Considerações Legais, que apresentou uma média geral de 2,75 de 4. A Figura 23 mostra o resultado encontrado.

Figura 23 - Resultado da dimensão de Considerações Legais



Fonte: Autoria própria (2019)

Atualmente, a sub dimensão de modelos de contratação recebeu nota dois, pois já existem algumas mudanças nos processos de contratação para refletir as mudanças operacionais, no entanto, não é feita uma análise comportamental

aprofundada dos candidatos e nem das necessidades da empresa requeridas para atingir a Indústria 4.0.

A parte de gestão de risco é extremamente bem desenvolvida dentro da empresa. O grupo de trabalho avalia rotineiramente as mudanças de perfil de risco e os procedimentos para mitigá-los. Todas as áreas possuem um mapa de risco e riscos relacionados aos processos, que estão diretamente ligados às metas e à remuneração variável dada ao final do ano aos colaboradores. Além disso, mensalmente, existe um processo de auditoria interna que cobra dos colaboradores informações a respeito dos riscos físicos e de processos relacionados às atividades executadas por eles.

Finalmente, quanto à proteção de dados, existem políticas e procedimentos robustos, mas não atualizados com o Regulamento Geral de Proteção de Dados. Em se tratando de propriedade intelectual, há uma consciência relacionada a novos produtos e serviços, principalmente na parte de desenvolvimento de sistemas internos, porém sem nenhuma proteção legal identificada ou aplicada.

4.4 Processo de implementação do sistema de gestão do estoque

a) Contextualização da área de estudo

O projeto de implementar um sistema de gestão de estoque (*Warehouse Control System*) surgiu com o objetivo de rastrear as movimentações de produtos e trazer inteligência ao processo de armazenagem.

Observou-se que muitos paletes eram descartados porque a regra de armazenagem (*First-Expire First-Out*) era desrespeitada, o que gerava bastante prejuízo para a empresa. Além disso, não havia um controle sobre a posição do armazém em que estava estocado cada produto, onerando o processo de contagem de inventário.

Ademais, não existia um planejamento prévio de onde cada produto iria ficar. Dessa forma, assim que ele saía da linha de produção ou de um carregamento, cabia aos empilhadores escolherem a posição em que iria ser armazenado. Isto resultava em um mau aproveitamento do espaço das ruas, porque o mesmo produto era estocado em locais diferentes, além de tornar mais provável as chances de mistura de datas de validade de um mesmo produto.

Dada essa necessidade, foi constituída uma equipe com pessoas da área do Estoque, Engenharia Logística e T.I para executar este projeto. A primeira etapa compreendeu em negociar com fornecedores de sistemas de gestão de armazenagem um período de testes e orçar valores. Após a fase de testes, a equipe concluiu que nenhum fornecedor atendia plenamente às necessidades do projeto e por isso foi decidido que o sistema seria desenvolvido internamente pela equipe de T.I.

b) Área de recebimento de terceiros

O estoque é composto por duas áreas principais: área de produtos próprios, onde são armazenados os produtos que saem da linha de produção e área de recebimento de terceiros, onde se posicionam os produtos que não são fabricados na companhia.

A pesquisa-ação concentrou-se na área de recebimento de terceiros. Esta área representa cerca de 20% da capacidade de armazenagem do estoque. Ela é composta por estruturas de armazenagem *drive-in*, que é caracterizada por ter a entrada e saída do produto no mesmo lugar, conforme ilustrado pela Figura 24 e cada rua possui 6 paletes de profundidade e 6 paletes de altura, totalizando uma capacidade de 36 paletes por rua.

Figura 24 - Estrutura de armazenagem *drive-in*



Fonte: Jungheinrich (2019)

A regra de armazenagem, portanto, é a FEFO (*First-Expire, First-Out*), ou seja, o primeiro produto que vence é o primeiro que deve sair. Dessa forma, se um novo

carregamento de produtos chega com produtos cuja data de validade é mais nova em relação aos já armazenados, é necessário desfazer toda a rua, armazenar os novos produtos na parte de trás e trazer os produtos mais antigos para as posições mais à frente.

c) Processo de recebimento de terceiros sem o sistema

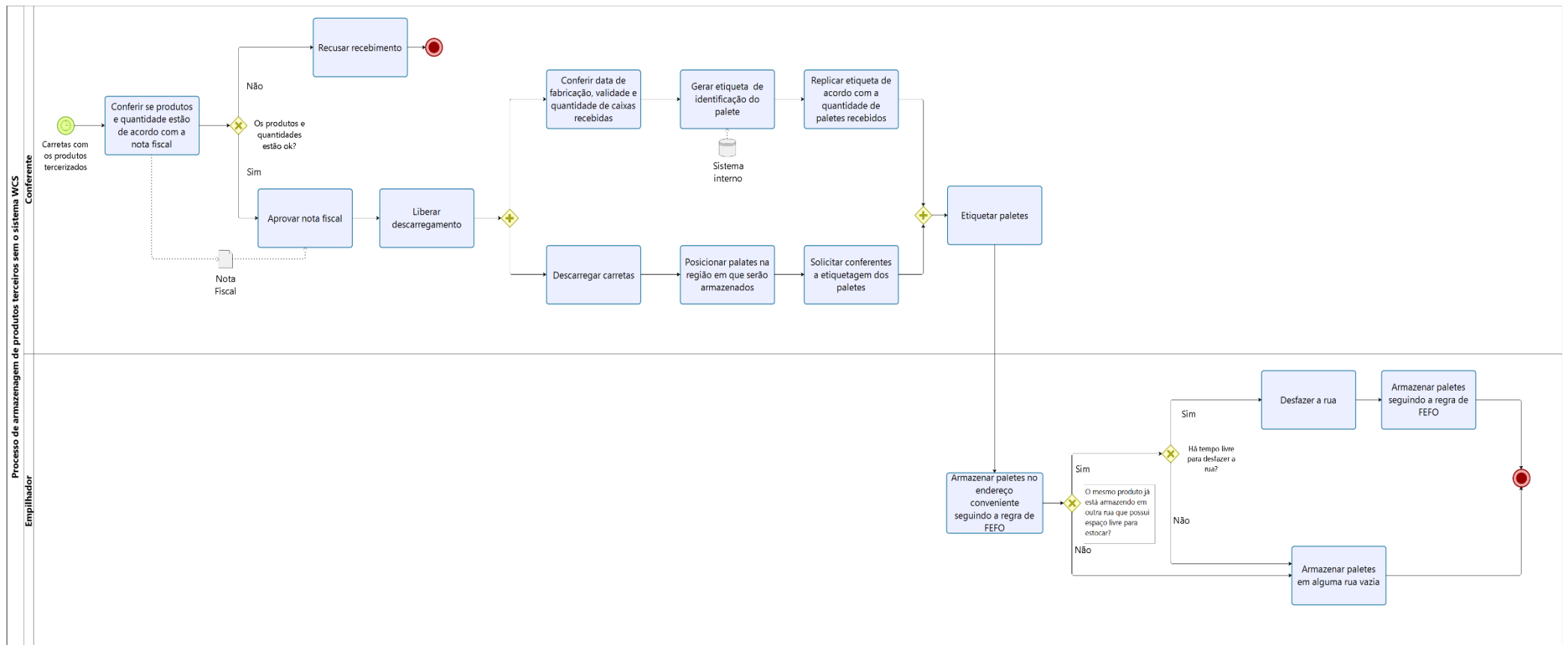
A Figura 25 sintetiza como funciona o processo de recebimento de terceiros sem o sistema de gestão de armazenagem.

O funcionamento do processo de armazenagem de produtos terceiros continha dois atores principais: conferentes e empilhadores. O processo se iniciava quando as cargas com os produtos chegavam nos caminhões, dessa forma, os conferentes checavam se a nota fiscal estava de acordo com o tipo e quantidade de produtos solicitados. Se, por ventura, houvesse algum tipo de divergência, o conferente recusava o recebimento e a carga retornava à franquia. Por outro lado, se tudo estivesse de acordo, a nota fiscal era aprovada e o descarregamento da carga era liberado.

Ao receber o aval do conferente para descarregar as cargas, os empilhadores, tiravam os produtos do caminhão e os posicionavam no chão da área de recebimento de terceiros. Enquanto isto, os conferentes ficavam responsáveis por gerar as etiquetas, por meio de um sistema interno, e xerocá-las de acordo com a quantidade de paletes. Ao finalizar o descarregamento, os empilhadores informavam esse status aos conferentes, que etiquetavam todos os paletes.

Por fim, o empilhador verificava qual rua da área de terceiros era mais conveniente e armazenava os produtos, sempre respeitando a regra de FEFO. Portanto, se por acaso a rua já estivesse ocupada com o palete do mesmo produto, porém com validade anterior, e o empilhador não tivesse tempo para desfazer a rua naquele momento, ele procurava uma rua vazia e guardava os produtos. Por outro lado, se ele tivesse tempo, ele desfazia a rua, guardava os paletes novos atrás e os velhos a frente.

Figura 25 – Processo de armazenagem de produtos terceiros (sem sistema)



Fonte: Autoria própria (2019)

d) Processo de recebimento de terceiros com o sistema

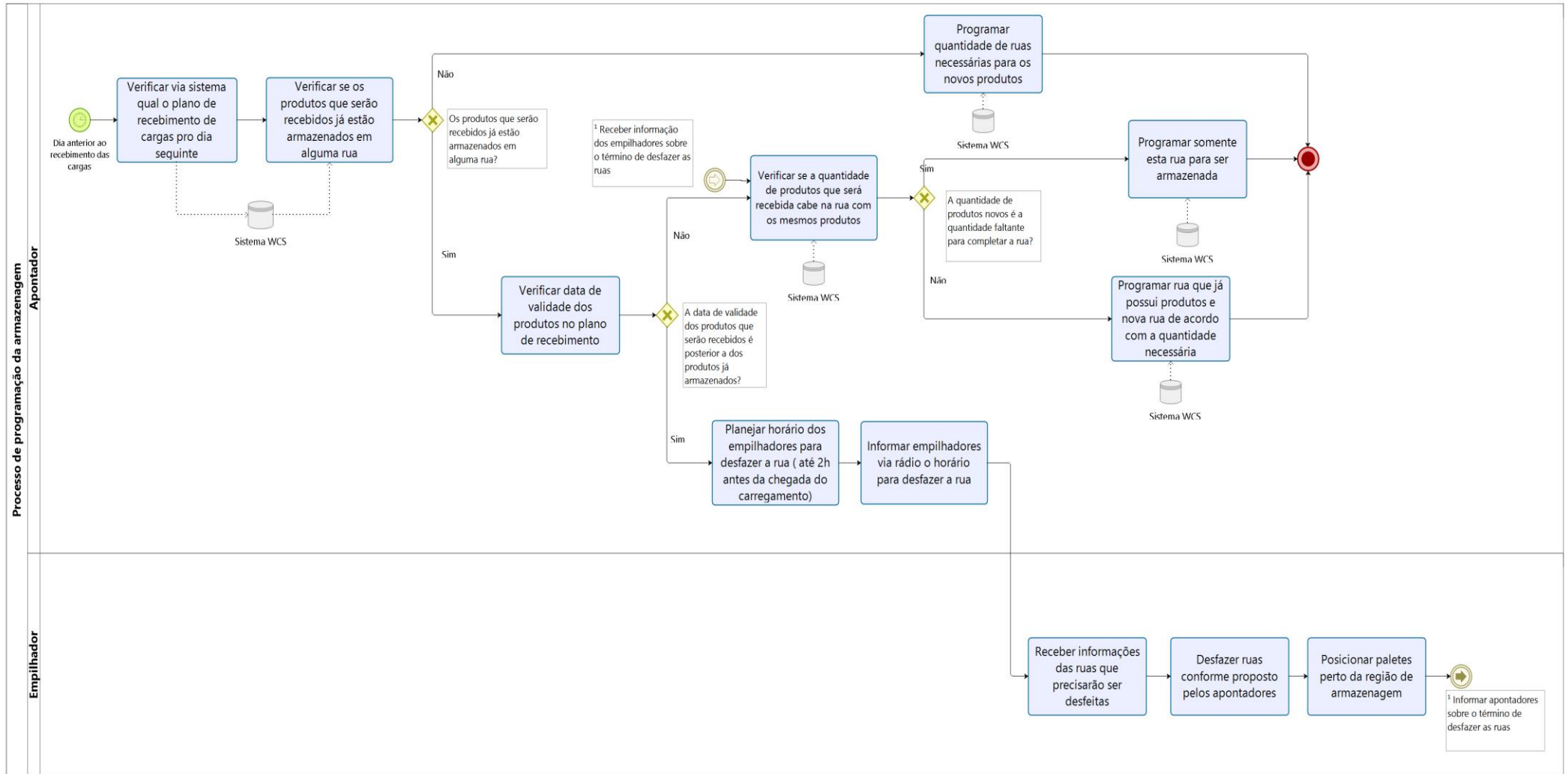
A introdução do sistema de gestão de armazenagem na empresa visava atingir dois objetivos: gerar uma inteligência de armazenagem e promover rastreabilidade dos produtos durante suas movimentações dentro do armazém. A Figura 26 mostra como foi desenhado o processo para planejar previamente o local de armazenamento dos produtos e a Figura 27 ilustra o processo de recebimento de terceiros com a introdução do sistema de gestão de armazenagem.

Anteriormente, quando o sistema de gestão não era utilizado, o empilhador tinha autonomia para escolher qual endereço era mais conveniente para armazenar o palete. No entanto, o fato do colaborador não ter a visão geral da programação da produção e entregas, acarretava mau aproveitamento do espaço das ruas. Principalmente, porque, as vezes não havia tempo disponível para desmontar as ruas, o mesmo produto era estocado em locais diferentes e o processo se tornava muito mais suscetível à mistura de datas de validade (quebras de FEFO).

Portanto, foi desenhado um processo de programação da armazenagem, conforme apresentado na Figura 26. Desta forma, um dia antes da chegada das carretas, o apontador ficaria responsável por selecionar as melhores ruas para o produto ser estocado. Com isso, ele informaria com antecedência quais ruas precisariam ser desmontadas, aproveitando melhor as janelas livres de trabalho dos empilhadores e preparando as estruturas de armazenagem para chegada dos novos produtos, evitando também, possíveis quebras de FEFO.

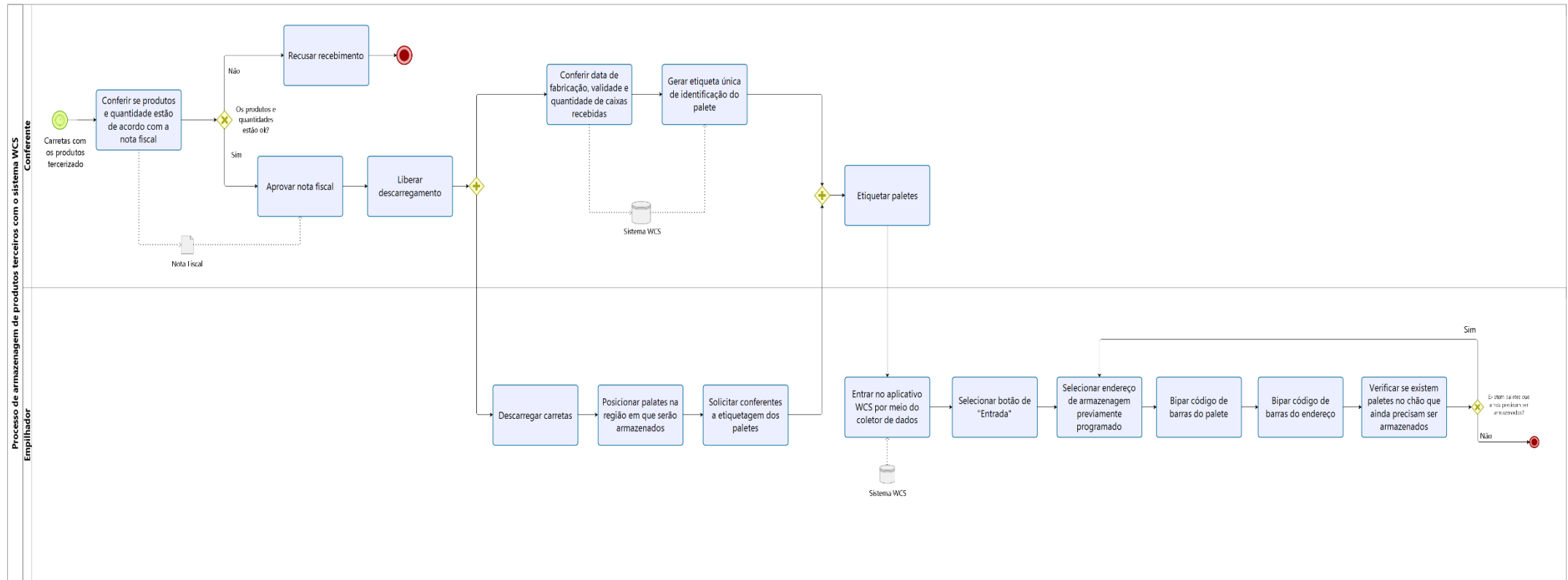
No dia seguinte, com a chegada dos caminhões, o processo, apresentado na Figura 27, seguiria inicialmente o mesmo fluxo até chegar na parte de armazenar os produtos na estrutura. Desta parte em diante, foi introduzido um coletor de dados responsável por alimentar o sistema.

Figura 26 - Processo de programação de armazenagem



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 27 - Processo de armazenagem (com sistema)



Fonte: Autoria própria (2019)

e) Funcionamento do sistema

A Figura 28 sintetiza os requisitos necessários para o funcionamento do sistema, são eles: coletor de dados, paletes etiquetados e endereço único no armazém identificado.

Figura 28 - Requisitos para funcionamento do sistema



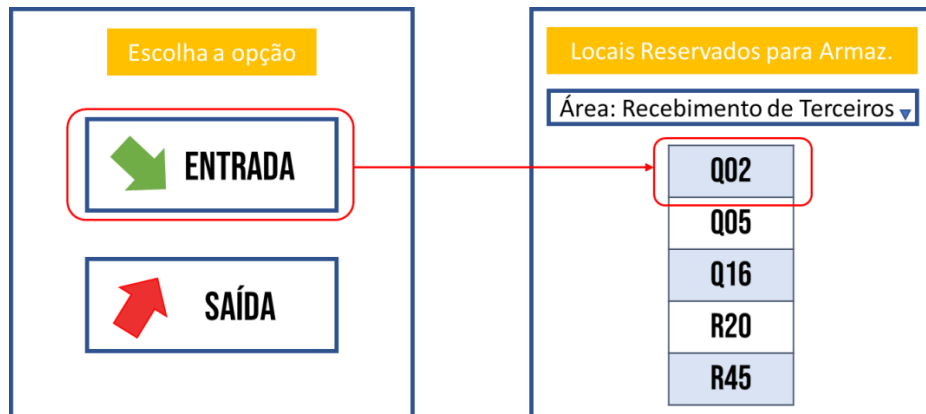
Fonte: Autoria própria (2019)

O funcionamento do sistema consiste em 4 fases:

- Gera-se uma etiqueta no sistema com informações de validade, código do produto, descrição do produto e quantidade de caixas. Em seguida, a etiqueta é colada no pallet em questão;
- Por meio do coletor de dados, o empilhador seleciona a opção de “Entrada” e seleciona o endereço em que o pallet será armazenado. Este endereço, foi previamente programado pela equipe de apontadores do estoque.

A Figura 29 ilustra o processo descrito, sendo Q02 o endereço que o pallet será armazenado.

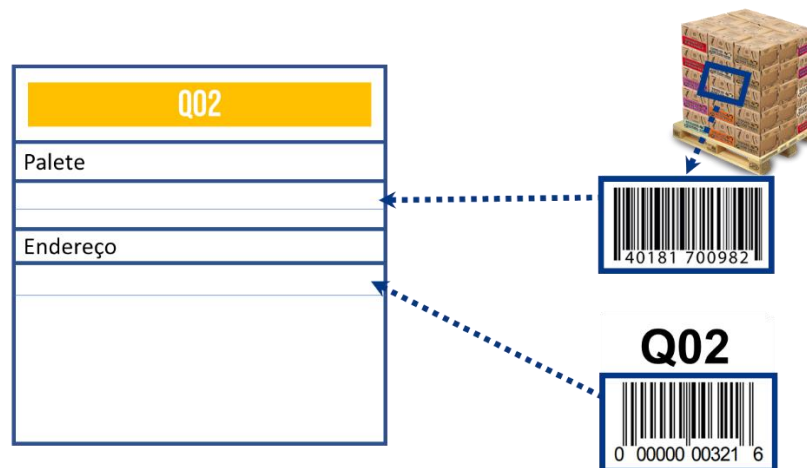
Figura 29 - Processo de entrada de dados no coletor



Fonte: Representação do sistema de controle interno (2019)

- Em seguida, o empilhador “bipa” o código de barras da etiqueta do palete e também o código de barras da etiqueta que identifica o endereço do estoque onde o palete será guardado. Esta etiqueta fica posicionada fisicamente na estrutura de armazenagem. No caso do exemplo apresentado na Figura 30, o endereço corresponde a rua Q02.

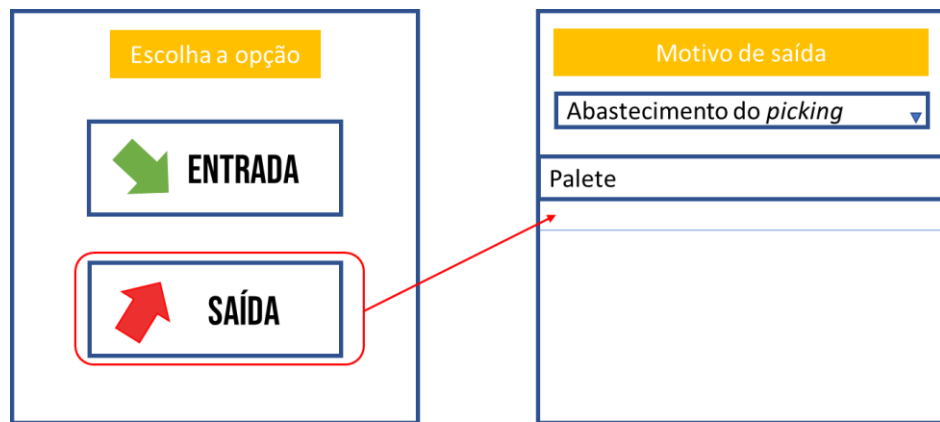
Figura 30 - Processo de registro do palete



Fonte: Representação do sistema de controle interno (2019)

- Por fim, quando surge a necessidade daquele produto ir para o *picking* ou para o pulmão (estoque intermediário), o empilhador seleciona o botão de “Saída” vai ao endereço onde está posicionado o palete, “bipa” para dar baixa do produto no sistema.

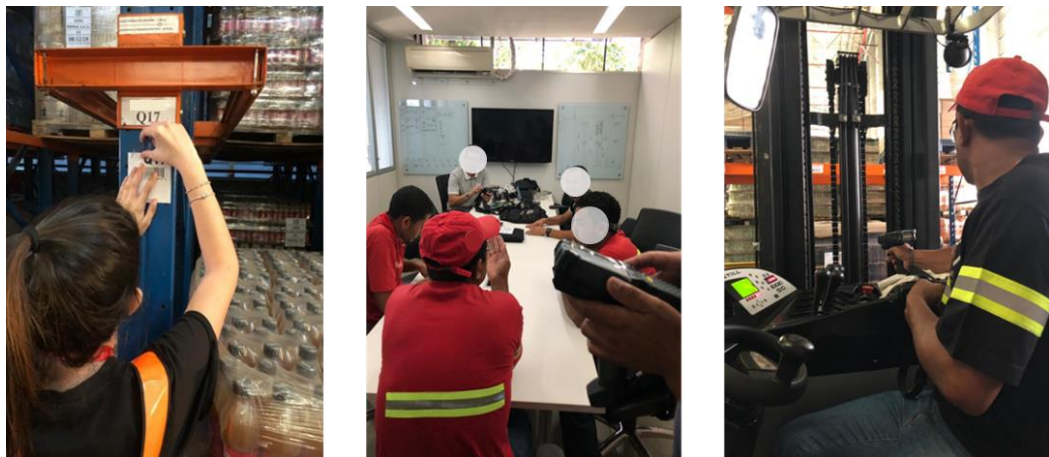
Figura 31 - Processo de saída do palete



Fonte: Representação do sistema de controle interno (2019)

A fase de implementação consistiu em endereçar o estoque, onde foram posicionadas as etiquetas como código de barras que representava aquele endereço, a Figura 32 apresenta como foi realizado este processo. Em seguida, foram realizados treinamentos com os empilhadores e acompanhou-se o uso do coletor diariamente na operação, durante o período de 13/02/2019 à 12/04/2019.

Figura 32 - Implementação dos coletores na operação



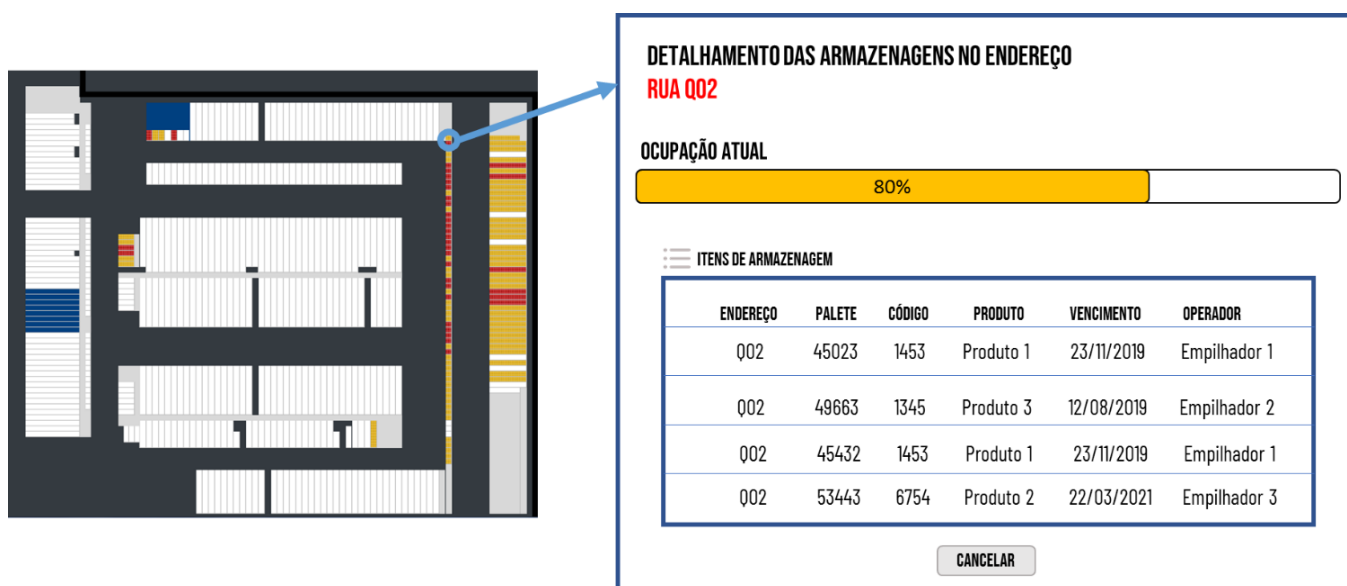
Fonte: Autoria própria (2019)

A partir da implementação do sistema, foi possível criar uma sombra digital (*digital shadow*) (SCHUH et al., 2017, p. 17). Segundo o autor, isto significa que o sistema deve refletir, em tempo real, exatamente o que está acontecendo no chão de fábrica, de modo que a tomada de decisão possa ser feita a qualquer momento.

Dessa forma, se o gerente, por exemplo, tivesse o interesse de saber quais produtos, possivelmente, iriam vencer nos próximos dois meses, ele conseguiria emitir um relatório com essas informações, a partir dos dados coletados no estoque. Além disso, o sistema possibilita, de uma maneira bastante visual, enxergar quais ruas do estoque estão totalmente preenchidas, quais ruas ainda possuem espaço para armazenagem.

A Figura 33 ilustra o mapa do estoque apresentado pelo sistema que reflete exatamente todas as posições para armazenagem existentes. Em vermelho, têm-se as ruas completamente ocupadas, em branco, as vazias, ou seja, as que estão disponíveis para armazenagem e, por fim, em amarelo, as parcialmente ocupadas, ou seja, que a ocupação atual não atingiu os 100%. É válido ressaltar que as ruas que estão em azul são ruas que, fisicamente, não estão disponíveis, por motivos de armazenamento de vasilhames retornáveis.

Figura 33 - *Layout* do estoque e detalhamento das armazenagens no endereço selecionado



Fonte: Representação do sistema de controle interno (2019)

Ainda segundo a Figura 33, ao selecionar uma rua, dentro do sistema, abre-se uma tela com o detalhamento das armazenagens no respectivo endereço. As informações apresentadas são quais paletes estão estocados nela, seus respectivos códigos, a descrição do produto, a data de validade de cada um e quem foi o operador responsável pelo armazenamento. Na Figura 33, a rua em análise é a Q02 e nota-se

que sua ocupação atual é de 80%, ou seja, ainda existem 20% de posições livres. Observa-se, ainda, que existem três tipos de produtos diferentes armazenados nela, com datas de vencimento diferentes e a identificação de cada operador responsável por armazenar aquele palete. Com isso, caso haja uma quebra de FEFO, é possível identificar o responsável pela armazenagem e solicitar a correção da rua.

f) Resultados e benefícios do sistema

Para mensurar os primeiros resultados do sistema de gestão de armazenagem, foram estabelecidos alguns indicadores. O primeiro deles foi a quantidade de paletes descartados por desrespeito à regra de FEFO.

No período entre 01/12/2018 à 01/02/2019 (prévio à implementação) verificou-se, em reais, o valor dos paletes perdidos por erro do empilhador ao armazená-lo (quebra de FEFO), apresentado na Tabela 16. Neste período de 2 meses, três paletes tiveram que ser descartados porque venceram no estoque devido a inversão de datas durante a armazenagem, o que totalizou um prejuízo de, aproximadamente, R\$ 4.000.

Entre os dias 13/02/2019 a 12/04/2019, com o sistema em curso, averiguou-se o mesmo indicador. Durante a contagem de inventário quinzenal, foram identificados por meio do sistema, no relatório de itens críticos, os produtos que tinham sido armazenados de forma incorreta, desrespeitando a regra de FEFO. Dessa forma, solicitou-se aos empilhadores a reordenação da rua, o que fez a empresa economizar R\$ 2.500 (valor dos paletes que evitaram ser descartados). Estes paletes conseguiram ser negociados pela equipe de comercial, evitando serem descartados.

Outro indicador levantado foi o tempo médio de armazenagem de uma rua contendo 36 paletes. Sem o sistema, o empilhador, em média, desmontava um quarto da rua antes de iniciar as armazenagens para respeitar a regra de FEFO. Com o processo de programação prévia das armazenagens, no momento em que o empilhador ia abastecer as ruas, elas já se encontravam vazias, reduzindo o tempo médio de armazenagem em 22 minutos.

Tabela 16 - Resultado da implementação do sistema de gestão de armazenagem

Indicadores	Antes	Após
Perda de paletes por desrespeito a regra de FEFO (em R\$)	- R\$ 4.000*	+R\$ 2.500**
Tempo médio de armazenagem de uma rua contendo 36 paletes	1h42***	1h20****
Inteligência de armazenagem	Inexistente	Controle e rastreabilidade de todos os produtos na área de recebimento de terceiros
Controle de inventário	Manual e uma vez por turno	Automático via sistema e diário
Controle de itens críticos	Manual e quinzenalmente	Automático via sistema quinzenalmente

* Valor em R\$ dos paletes perdidos por quebra de FEFO entre 01/12/2018 à 01/02/2019.

** Valor em R\$ dos paletes que evitaram ser perdidos por quebra de FEFO, identificados previamente pelo sistema entre 13/02/2019 à 12/04/2019.

*** Valor considerando a desmontagem de um quarto da rua previamente mais o tempo de armazenagem de 36 paletes.

**** Valor considerando a rua já vazia.

Fonte: Autoria própria (2019)

Outra melhoria proporcionada pelo sistema foi a possibilidade de controlar e rastrear todos os paletes desde o processo de descarregamento até o carregamento para o cliente. Além disso, o controle de inventário deixou de ser manual e passou a ser feito por meio dos relatórios emitidos pelo sistema. O controle de inventário antes era realizado uma vez por turno e feito por amostragem (seleção do produto e acompanhamento dos níveis de estoque do produto ao longo da semana). Dessa forma não se tinha absoluto controle de todos os paletes armazenados.

O novo processo reduziu a quantidade de idas dos apontadores ao estoque, proporcionando uma redução do esforço físico e mental (devido a contagem de cada item manualmente) e possibilitou que esse controle fosse feito através de um sistema.

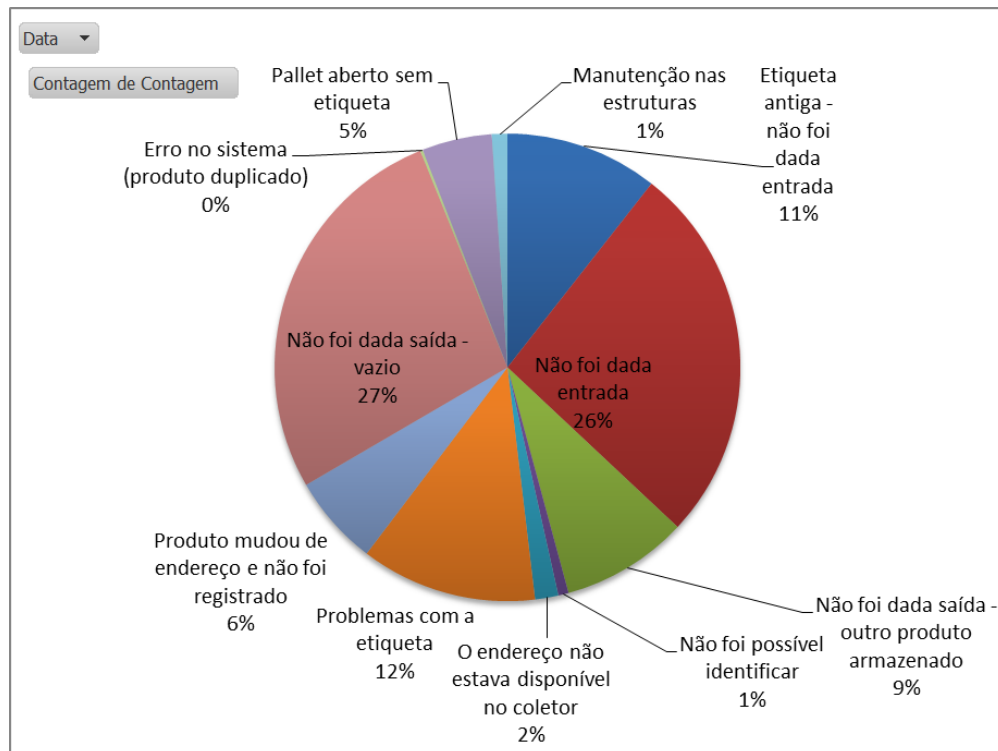
A gestão de itens críticos, ou seja, itens próximos de vencer, realizada quinzenalmente pela equipe de estoque, também passou a ser feita pelo sistema. Isto possibilitou que fosse avisado previamente à equipe de comercial a respeito desses produtos, facilitando as negociações com clientes e evitando perda de produtos.

Os principais benefícios relatados pelos empilhadores, usuários predominantes do sistema, foram a programação antecipada dos locais de armazenagem e a despreocupação com a gestão de itens críticos. Isto se deve, essencialmente, ao fato de que a responsabilidade de controlar datas de validade do produto e posições de armazenagem foi transferida para o apontador, que com o sistema, consegue ter uma visão muito mais holística do estoque e definir com muito mais facilidade estes pontos. Dessa forma, os empilhadores alegaram que com a implementação do sistema, eles devem se preocupar unicamente com a sua verdadeira função, que é a de armazenar o produto. A remuneração de ambos os cargos (empilhadores e apontadores) prosseguiu sendo a mesma.

Após o início dos testes de uso dos coletores na operação, foi desenvolvido um controle de entradas e saídas. Era necessário verificar se os empilhadores estavam usando o coletor corretamente, e se o que estava registrado no sistema, realmente refletia o que estava armazenado no estoque. Este controle durou aproximadamente 1 mês do dia 13/02/2019 à 12/04/2019.

Diariamente, o relatório de armazenagem emitido pelo sistema WCS era impresso e conferia-se se o produto registrado no papel condizia com o que estava na rua. A Figura 34 apresenta os principais erros encontrados, que serviram de insumo para novos treinamentos e orientações dos empilhadores. Nota-se que o principal erro encontrado foi do empilhador ao esquecer de dar entrada (26%) ou saída no produto (27%), isto se deu, principalmente, porque no início eles possuíam dúvidas em relação ao processo e não sabia usar o coletor de dados.

Figura 34 - Inconsistências encontradas ao longo da fase de testes



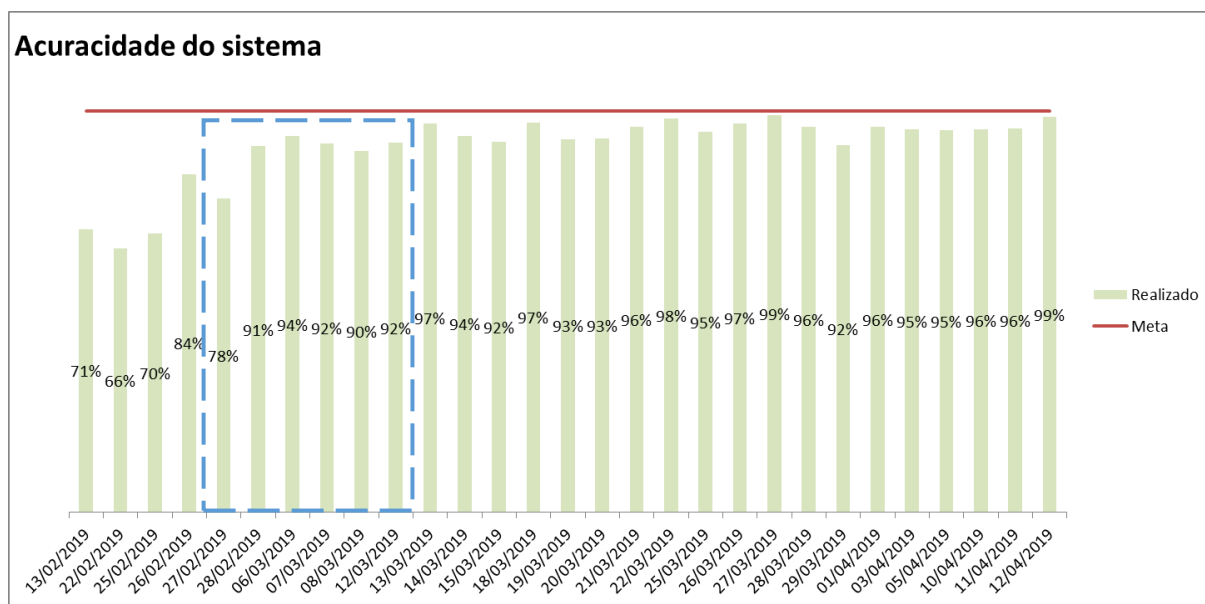
Fonte: Planilha de controle interno (2019)

Outro erro encontrado foi que como houve uma transição no sistema de geração de etiquetas, muitos paletes ainda tinham as etiquetas antigas, sem o código de barras, impedindo que fossem registrados no sistema. Como o processo de desmontar todo o estoque para etiqueta-los novamente era muito oneroso, esperou-se dar o giro do estoque.

O processo de transição do sistema de geração de etiquetas também gerou dificuldades, inicialmente, para os conferentes, que emitiram algumas etiquetas com o código errado (12%). Isto foi identificado com antecedência e sanado, por meio de orientações e treinamento.

A Figura 35 mostra a acuracidade do sistema, ou seja, o quanto o chão de fábrica condiz com o sistema.

Figura 35 - Acuracidade do sistema em relação ao chão de fábrica



Fonte: Planilha de controle interno (2019)

Nota-se que no início a acuracidade era baixa, porém, com os novos treinamentos e orientações dos empilhadores, representado pelo retângulo azul na Figura 35, pode-se concluir que o sistema foi bem implementado. É válido ressaltar que durante os testes, foram levantadas outras necessidades que o sistema deveria abarcar e como o seu desenvolvimento estava ocorrendo em paralelo, foi possível incorporar as sugestões dadas pelos usuários (empilhadores).

4.5 Nível de maturidade esperado

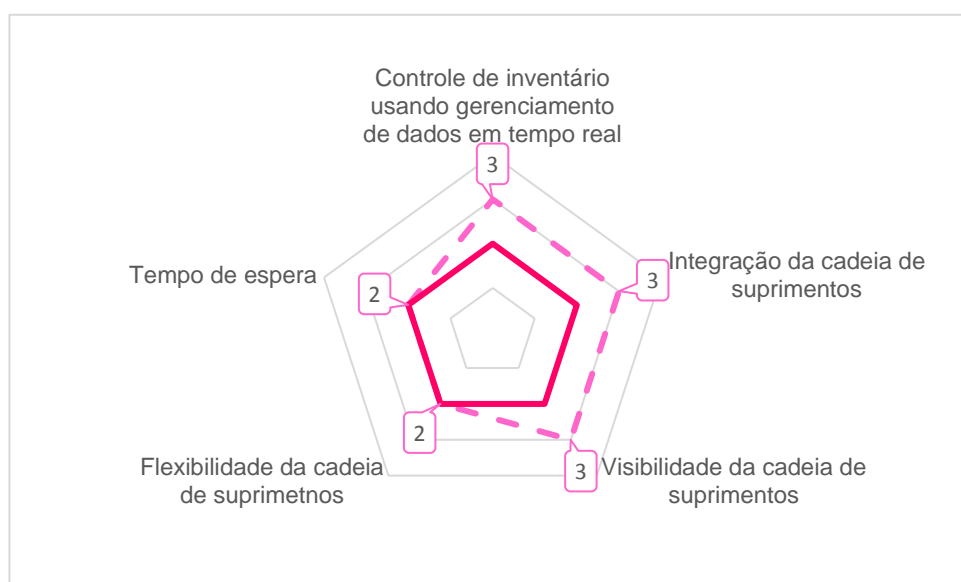
A última parte da pesquisa-ação consistiu em aplicar novamente o modelo de maturidade proposto pelos autores AGCA *et al.* (2017) e verificar quais dimensões foram impactadas devido à implementação do sistema de armazenagem. Em seguida, foi calculado novamente o nível de maturidade geral da fábrica.

A primeira dimensão que sofreu mudanças foi a de cadeia de suprimentos, na sub dimensão “Controle de inventário usando gerenciamento de dados em tempo real”. Antes, o controle de inventário era feito por amostra, eram escolhidos alguns produtos para acompanhar os níveis de estoque ao longo de 15 dias. Além disso, diariamente, os apontadores checavam as datas e atualizavam manualmente o banco de dados disponibilizado em um tablete. Com a implementação do sistema, a atualização do estoque passou a ser feita diariamente, por meio de dispositivos

inteligentes (coletor de dados), reduzindo a frequência de idas dos apontadores ao armazém e controlando todas as movimentações dos produtos realizadas pelo computador. Dessa forma, outras sub dimensões impactadas foram a integração da cadeia de suprimentos e a visibilidade da cadeia de suprimentos, uma vez que tendo as informações de inventário diárias, é possível compartilhar os níveis de estoque com os clientes e fornecedores, facilitando o processo de ordem de pedidos.

Portanto, as duas sub dimensões que antes tinham nota 2, passam a ter nota 3, conforme apresentado na Figura 36. E a dimensão de cadeia de suprimentos, que antes possuía nota geral de 2, agora, possui uma pontuação de 2,6, um aumento de 30%.

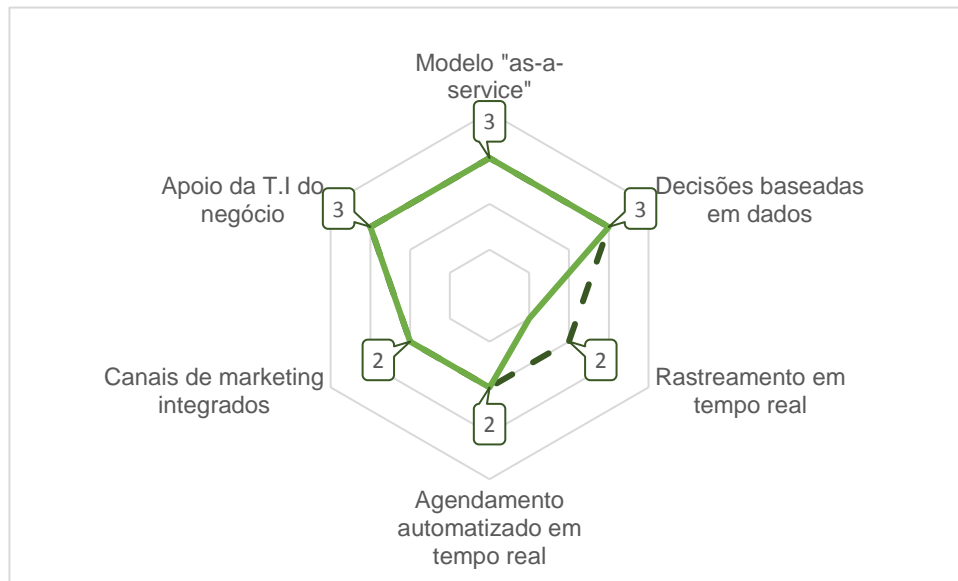
Figura 36 - Dimensão de Cadeia de Suprimentos após o sistema



Fonte: Autoria própria (2019)

A outra dimensão impactada foi a de modelo de negócios, na categoria de “rastreamento em tempo real”. O estoque, que antes possuía rastreamento limitado dos produtos (nota 1), agora pode ser rastreado à medida que se move entre os locais de fabricação e distribuição interna (nota 2), vide Figura 37. O sistema, na versão atual, entretanto, não permite que o produto seja rastreado até chegar aos centros de distribuição do cliente. A pontuação geral dessa dimensão ficou em 2,5, um aumento de, aproximadamente, 9,5%.

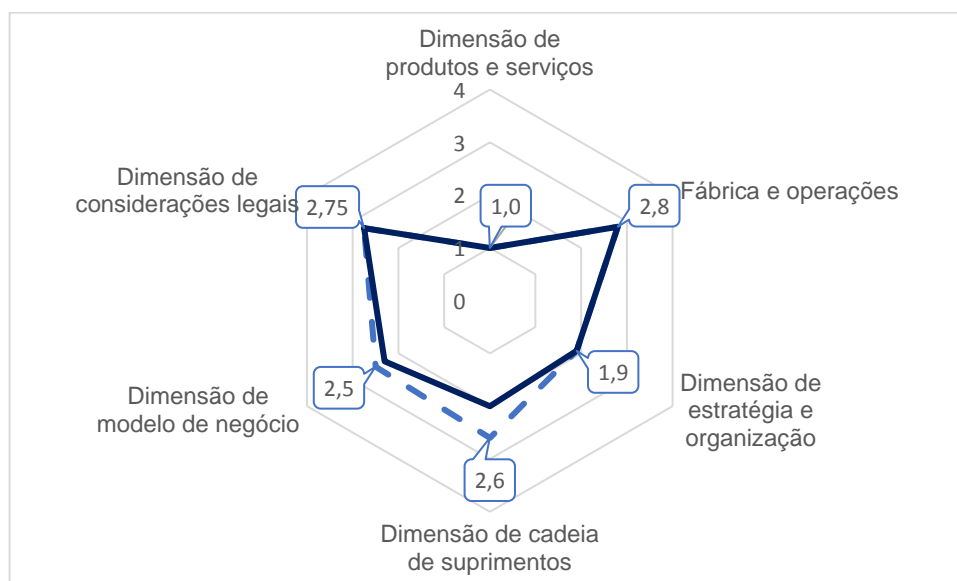
Figura 37 - Dimensão de Modelo de Negócio após o sistema



Fonte: Autoria própria (2019)

O nível de maturidade geral da empresa atingido após a implementação do sistema de gestão de armazenagem foi de 2,3, conforme apresentado na Figura 38. Isto representa um aumento de 9,5%, porém, este aumento não permitiu que a empresa mudasse de nível, permanecendo como Intermediária em relação à Indústria 4.0. Esta foi uma das desvantagens da aplicação do modelo Agca *et al.* (2017), pois ele possuía apenas 4 níveis de maturidade. Dessa forma, mesmo a empresa implementando melhorias, não foi possível enxergar um salto de maturidade, porque o modelo possui poucos níveis.

Figura 38 - Resultado geral de maturidade da empresa após o sistema



Fonte: Autoria própria (2019)

A Tabela 17 resume os resultados de cada dimensão após a implementação do sistema. Observa-se uma melhora de 9,5%.

Tabela 17 - Resultado das dimensões (antes x depois)

Dimensões	Antes	Depois	Melhora (em %)
Produtos e Serviços	1,0	1,0	0%
Fábrica e Operações	2,8	2,8	0%
Estratégia e Organização	1,9	1,9	0%
Cadeia de Suprimentos	2,0	2,6	30%
Modelo de Negócio	2,3	2,5	9%
Considerações Legais	2,75	2,75	0%
Total	2,1	2,3	9,5%

Fonte: Autoria própria (2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção deste projeto buscou responder ao problema de pesquisa proposto de como é feita a avaliação de maturidade das empresas em relação Indústria 4.0 e como a implementação de um sistema de armazenagem pode contribuir para elevar o nível de maturidade de uma empresa de cuja grande parte da sua operação é baseada em processos de compra, venda e distribuição de produtos industriais.

A primeira etapa do estudo, portanto, compreendeu a identificação, na literatura científica, dos principais modelos de maturidade em Indústria 4.0. Para tanto, foi necessário contextualizar a Indústria 4.0 e identificar os modelos de avaliação de maturidade predominantes. Além disso, como parte da aplicação do projeto se deu em um armazém, explicitou-se quais eram as implicações da Indústria 4.0 na gestão logística e os conceitos fundamentais de um sistema de armazenagem.

A pesquisa-ação foi realizada em uma fabricante de bebidas. Para escolha do modelo de maturidade que melhor se enquadrava no contexto da empresa, foram estabelecidos critérios e utilizado o método AHP. O modelo selecionado foi o proposto por Agca *et al.* (2017), pois além de ter o questionário disponibilizado em sua metodologia, as respostas possuíam a descrição de cada nível de maturidade.

Para sua aplicação foram conduzidas reuniões com as áreas de Comercial, Logística, Engenharia Industrial, Financeiro, Suprimentos e T.I. O resultado geral de maturidade encontrado na empresa foi de 2,12 de um valor máximo possível de quatro, sendo considerada “Intermediária” em relação a Indústria 4.0 na escala proposta pelos autores.

A partir do resultado da maturidade da empresa, buscou-se entender quais eram as estratégias digitais que estavam em curso na companhia para que ela alcançasse um nível maior de maturidade em Indústria 4.0. Optou-se por estudar o processo de implementação de um sistema de armazenagem na área de recebimento de terceiros e identificar quais elementos deste projeto faria com que a empresa aumentasse a sua maturidade.

A primeira dimensão impactada pelo sistema de gestão de armazenagem foi a de cadeia de suprimentos em três critérios: “Controle de inventário usando gerenciamento de dados em tempo real”, “Visibilidade da cadeia de suprimentos” e “Integração da cadeia de suprimentos”. Isto ocorre porque o controle de inventário, que antes era feito por amostra e seus níveis, atualizado manualmente, passou a ser feito por meio de dispositivos inteligentes (coletor de dados), reduzindo a frequência de idas dos apontadores ao armazém, controlando todas as movimentações dos produtos e reduzindo as quebras de FEFO, regra de estocagem adotada pela empresa. Uma vez tendo as informações de inventário diárias, o compartilhamento dos níveis de estoque com os clientes e fornecedores torna-se possível, facilitando o processo de ordem de pedidos e impactando diretamente a visibilidade da cadeia de suprimentos e a integração.

Outra dimensão impactada foi a de modelo de gestão na categoria de “rastreamento em tempo real”. O estoque, que antes possuía rastreamento limitado dos produtos agora pode ser rastreado à medida que se move entre os locais de fabricação e distribuição interna.

Com a implementação do sistema de gestão de armazenagem, o nível de maturidade da empresa cresceu 9,5%, saindo de 2,12 para 2,3 idem 4. No entanto, ela ainda continuou sendo classificada como intermediária pela escala dos autores. Outros benefícios do uso do sistema também foram levantados como a redução do tempo médio de armazenagem, a economia em itens críticos previamente localizados e a criação do processo de inteligência de armazenagem.

O sistema foi aplicado apenas na área de recebimento de terceiros, portanto, ainda precisa ser expandido para a área de armazenagem de produtos próprios. No entanto, os primeiros resultados já são suficientes para comprovar os seus benefícios para companhia.

Como trabalhos futuros, propõe-se:

- A identificação de estratégias digitais em outras áreas da companhia e a aplicação do modelo de maturidade antes e depois;

- Avaliação da maturidade das empresas do setor de bebidas e estudo comparativo entre elas;
- Aplicação do modelo de maturidade a outros setores industriais;
- Concepção de um modelo de maturidade em Indústria 4.0 próprio com base no referencial estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCENTURE. **Digital Making a Difference Across the Post and Parcel**. 2017. Disponível em: <<https://www.accenture.com/us-en/new-delivery-reality-post-parcel-players-index>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

AGCA, O. *et al.* **An Industry 4 readiness assessment tool**. Warwick: WMG; Crimson & Co e Pinsent Mason, 2017.

AKDIL, K. Y.; USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. In: USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing the Digital Transformation**. Reino Unido: Springer, 2018, pp. 61- 93.

ALMEIDA, Mário de Souza. **Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva**. São Paulo: Atlas, 2011. p. 96.

ASSIS, Rafael; SAGAWA, Juliana Keiko. **Avaliação da implantação do Sistema de Gestão de Armazém em uma empresa multinacional do ramo de acionamentos**. Gest. Prod., São Carlos, v. 25, n. 2, p. 370-383, 2018.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. p. 616.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: Transportes, Administração de materiais e distribuição física**. Tradução Hugo T. Y. Yoshizaki. ed. 29. Reimp. São Paulo: Atlas, 2014.

BANZATO, E. **Tecnologia da informação aplicada à logística**. São Paulo: IMAM, 2005.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. **Industry 4.0 implications in logistics: an overview**. Procedia Manufacturing, v.13, 2017, p. 1249.

BUXMANN, Peter; HESS, Thomas; RUGGABER, Rainer. **Internet of services: Business & Information Systems Engineering**, 5, 2009, pp. 341–342.

CANTAMESSA, Marco; MONTAGNA, Francesca. **Management of Innovation and Product Development: Integrating Business and Technological Perspectives**. Turim: Springer, 2016.

CAPGEMINI CONSULTING. **Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View: Sharpering the Picture Beyond the Hype**. Capgemini, 2014.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto. **Estudo de Caso na Engenharia de Produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Prod., São Paulo, v. 17, n. 1, 2007. pp. 216-229.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. – Brasília: CNI, 2016. p. 34.

DELOITTE. Industry 4.0. **Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use Of Exponential Technologies**. 2014. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

EVANS, Peter. C.; ANNUNZIATA, Marco. **Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machine**. General Electric Technical Report, 2012. p. 37.

FORBES: The Winning Formula: How Leading Organizations Are Leveraging The Internet Of Things. Nova Iorque, 24 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/insights-inteliot/2018/08/24/the-winning-formula-how-leading-organizations-are-leveraging-the-internet-of-things/#2756583f20d2>>. Acesso em: 30 nov.2018.

FREEMAN, Chris; LOUÇÃ, Francisco. **As times Goes by: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution**. New York: Oxford University Press, 2002. p. 6.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo, v.5, n.61, 2002. pp. 1-173.

GLEISSNER, Harald; MÖLLER, Klaus. **Case Studies in Logistics**. Usa: Springer Verlag Ny, 2011. p. 233.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**. São Paulo, v.35, n.2, 1995, p. 57-63.

GÜNTHER, Hartmut. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?**. Psic.: Teor. e Pesq., Brasília, v. 22, n. 2, 2006. p. 201-209.

HARGROVES, Karlson; SMITH, Michael Harrison. Natural Advantage of Nations: A critical mass of enabling technologies. In: HARGROVES, Karlson; SMITH, Michael Harrison. **Natural Advantage of Nations: Business Opportunities, Innovations and Governance in the 21st Century**. Londres: Earthscan, 2005. Cap. 1. p. 16-20.

HERMANN, Mario, PENTEK, Tobias, OTTO, Boris. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Working Paper. Technical University of Dortmund, 2015. p. 16.

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Elsevier: Computer in Industry**, Suíça, 2017. p. 23-34.

JIN, Y. L., Gong, A. L., & Liu, S. P. **Study of logistics warehouse management system based on RFID** (Vol. 748, pp. 1281-1284). Shenyang: Advanced Materials Research, 2013.

JUNGHEINRICH. **Estruturas drive-in/drive-thru**. Armazenagem de paletes, 2019. Disponível em < <https://www.jungheinrich.com.br/produtos/estruturas-de-armazenagem/armazenagem-de-paletes/estruturas-drive-in-drive-thru/>>. Acesso: 22/05/2019.

KAGERMANN, Henning *et al.* **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry** final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion, 2013.

KONDRATIEFF, Nikolai D. **The Long Waves in Economic Life**. The Review Of Economics And Statistics. The MIT Press, v. 17, n. 6, p.105-115, nov. 1935. Disponível em: Disponível em: < <http://threecrises.org/wp-content/uploads/2015/01/Long-Waves-in-Economic-Life.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

KOREN, Yoram. **The Global Manufacturing Revolution: product-process-business integration and reconfigurable systems**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. v. 80. p. 38.

KOROTAYEV, Andrey V.; TSIREL, Sergey V. A Spectral Analysis of World GDP Dynamics: Kondratieff Waves, Kuznets Swings, Juglar and Kitchin Cycles in Global Economic Development, and the 2008–2009 Economic Crisis. **Structure and Dynamics**. Califórnia, 2010. p. 4-6.

LAUDON, Kenneth; LAUDON, Jane. **Sistemas de Informação Gerenciais**. 9. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011. p. 428.

LEE, Jay; BAGHERI, Behrad; KAO, Hung-an. **A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems**. Manufacturing Letters, 2014, v. 3. p. 18-23.

LICHTBLAU, K. *et al.* **IMPULS-industrie 4.0-readiness**. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.

MARIANI, Joe; QUASNEY, Evan; RAYNOR, Michael E. Forging links into loops: The Internet of Things' potential to recast supply chain management. **Deloitte Review**, 22015 n. 17. p.117-129. Disponível em:<https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/internet-of-things-supply-chain-management/DUP1159_DR17_ForgingLinksIntoLoops.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019.

MARTINS, V. W. B. *et al.* **Sistemas de Gerenciamento de Armazéns WMS (Warehouse Management Systems)**: Estudo de Caso Em Uma Empresa Do Setor Alimentício. ENEGEP. São Carlos, SP, Brasil, 2010.

MAZZUCATO, Marina; PEREZ, Carlota. Innovation as Growth Police: The Challenge for Europe. In: FAGERBERG, J.; LAESTADIUS, S.; MARTIN, B. R. **The Triple Challenge for Europe**: Economic Development, Climate Change, and Governance. Reino Unido: Oxford University Press, 2015. Cap.9. pp. 229-232.

MELLO, C. H. P. *et al.* **Pesquisa-ação na engenharia de produção**: proposta de estruturação para sua condução. Produção, v. 22, n. 1, jan./fev. 2012, p. 1-13.

MH&L, Staff. **Google Glass helps warehouse workers see better**, Material Handling & Logistics, 18 ago, 2015, Disponível em: <<http://mhlnews.com/transportation-distribution/google-glass-helps-warehouse-workers-see-better>> Acesso em: 10 maio 2019.

NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. S. P. Revisões da Literatura. In: Campello, B.S., Cendón, B.v. e Kremer, J.M. **Fontes de Informação para Pesquisadores e Profissionais**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000. p. 191-198.

NUNEZ, David Lira; BORSATO, Milton. **Panorama Atual dos Sistemas Ciber-Físicos no Contexto da Manufatura**. In: 10º Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento do produto, 2015, Itajubá: CBGDP, 2015. p. 1 - 12.

RICHARDS, Gwynne; GRINSTED, Susan. **The Logistics and Supply Chain Toolkit: Over 100 Tools and Guides for Supply Chain, Transport, Warehousing and Inventory Management**. 2. ed. Londres e Philadelphia, Pa: Kogan Page Limited, 2016. p. 400.

ROSENBERG, Nathan; FRISCHTAK, Claudio R. **Inovação Tecnológica e Ciclos de Kondratiev**. Tradução do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1983. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6183/1/PPE_v.13_n.3_inova%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 16 novembro 2018.

SAATY, R. W. **The Analytic Hierarchy Process-What It Is and How It Is Used**. Pittsburgh, PA: Mat/d Modelling, Vol. 9, No. 3-5, 1987, pp. 161-176

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Springer Science & Business Media, 2012.

SCHUH, Günther *et al.* **Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies**. Munich: Herbert Utz, 2017.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN; Wilfried. **A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises**. Procedia CIRP 52, 2016. p. 161–166.

SEIDELMANN, Joachim (Berlim). Fraunhofer. **Digital Transformation/Industrie 4.0**, 2018. Disponível em: <<https://www.ipa.fraunhofer.de/en/about-us/guiding-themes/industrie-4-0/definition.html>>. Acesso em: 30 nov. 2018.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ª Edição. Florianópolis, 2005

SIMPSON, J. A.; WEINER, E. S. C. and Oxford University Press, Eds., **The Oxford English Dictionary**, 2nd ed. Oxford: Oxford; New York: Clarendon Press; Oxford University Press, 1989.

STATISTA. **Spending on Internet of Things Worldwide by Vertical in 2015 and 2020 (in billion U.S. dollars).** Disponível em:<

<https://www.statista.com/statistics/666864/iotspending-by-vertical-worldwide/>>.

Acesso em: 30 nov. 2018.

TALIAFERRO, Alan *et al.* **Industry 4.0 and Distribution Centers:** Transforming distribution operations through innovation. Canada: Deloitte University Press, p.16, 2016.

TARHAN A.; TURETKEN O.; REIJERS H.A. **Business process maturity models:** A systematic literature review. *Inf Softw Technol* 75, 2016, p. 122–134.

DIMENSÃO DE PRODUTOS E SERVIÇOS

1. Personalização do produto

- () O produto não permite ser fabricado individualmente, a sua produção ocorre de forma padronizada e em massa.
- () Boa parte dos produtos são feitos em grandes lotes com diferenciação tardia limitada (aquela que ocorre ao final da cadeia de produção).
- () Os produtos podem ser amplamente personalizados, mas ainda têm base padronizada.
- () Diferenciação tardia (aquela que ocorre ao final da cadeia de produção) disponível para a maioria dos produtos sob encomenda (tamanho do lote 1).

2. Recursos digitais de produto

- () Produtos mostram apenas valor físico.
- () Os produtos mostram valor apenas para licenciamento de propriedade intelectual (patente).
- () Produtos exibem algumas características digitais e valor para licenciamento de propriedade intelectual (patente).
- () Produtos exibem altos recursos digitais e valor para licenciamento de propriedade intelectual (patente).

3. Serviços dirigido por dados

- () Serviços dirigido por dados são oferecidos sem integração com o cliente.
- () Serviços dirigido por dados são oferecidos com pouca integração com o cliente.
- () Serviços dirigido por dados são oferecidos com a integração do cliente.
- () Serviços dirigido por dados são totalmente integrados ao cliente.

4. Nível de uso de dados do produto pela empresa

- () Não são usados e nem coletados dados do usuário por meio do uso do produto.
- () 0-20% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados.
- () 20-50% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados.
- () Mais de 50% dos dados coletados por meio do uso do produto são usados.

5. Participação da receita

- () Os serviços dirigidos por dados são responsáveis por uma participação inicial de receita (<2,5%).
- () Os serviços dirigidos por dados representam uma parte moderada da receita (2,5 a 7,5%) .
- () Os serviços dirigidos por dados são responsáveis por uma parcela significativa da receita (7,5 a 10%).
- () Os serviços dirigidos por dados desempenham um papel importante na receita (> 10%).

DIMENSÃO DE FABRICAÇÃO E OPERAÇÕES

6. Automação

- () Poucas máquinas podem ser controladas por meio da automação.
- () Algumas máquinas e infraestruturas de sistema podem ser controladas por meio da automação.
- () A maioria das máquinas e infraestruturas de sistema podem ser controladas por meio da automação.
- () Máquinas e infraestruturas de sistema podem ser controladas totalmente por meio da automação.

7. Integração do sistema de máquinas e operações (M2M)

- () Máquinas e sistemas não possuem capacidade M2M.
- () Máquinas e sistemas são até certo ponto interoperáveis.
- () Máquinas e sistemas parcialmente integrados.
- () Máquinas e sistemas totalmente integrados.

8. Preparação do equipamento para Indústria 4.0

- () Reforma significativa exigida para atender ao modelo de Indústria 4.0.
- () Algumas máquinas e sistemas devem ser atualizados.
- () As máquinas já atendem a alguns dos requisitos e podem ser atualizadas quando necessário.
- () Máquinas e sistemas já atendem a todos os requisitos futuros.

9. Peças de trabalho guiadas autonomamente

- () Peças de trabalho guiadas autonomamente não estão em uso.
- () Peças de trabalho guiadas autonomamente não estão em uso, mas há pilotos em andamento.
- () Peças de trabalho guiadas autonomamente são usadas em áreas selecionadas.
- () Peças de trabalho guiadas autonomamente são amplamente adotadas.

10. Processos de auto otimização

- () Processos de auto otimização não estão em uso.
- () Processos de auto otimização não estão em uso, mas existem pilotos em áreas mais avançadas do negócio.
- () Processos de auto otimização estão em uso em áreas selecionadas.
- () Processos de auto otimização são amplamente adotados.

11. Modelagem digital

- () Não se utilizada modelagem digital.
- () Alguns processos utilizam modelagem digital.
- () A maior parte dos processos utilizam modelagem digital.
- () Modelagem digital completa usada para todos os processos relevantes.

12. Coleta de dados de operações

- () Os dados são coletados manualmente quando necessário, por exemplo, amostragem para controle de qualidade.
- () Os dados necessários são coletados digitalmente em determinadas áreas.
- () Coleta abrangente de dados digitais em várias áreas.
- () Coleta abrangente de dados digitais automatizados em todo o processo.

13. Uso de dados de operações

- () Os dados são usados apenas para fins de qualidade e regulatórios.
- () Alguns dados são usados para controlar processos.
- () Alguns dados são utilizados para controlar e otimizar processos, por ex. manutenção preditiva.

() Todos os dados são usados não apenas para otimizar processos, mas também para tomada de decisões.

14. Uso da solução em nuvem

() Soluções em nuvem não estão em uso.

() Soluções iniciais planejadas para *software* baseado em nuvem, armazenamento de dados e análise de dados.

() Soluções piloto implementadas em algumas áreas do negócio.

() Múltiplas soluções implementadas ao longo do negócio.

15. T.I e segurança de dados

() As soluções de segurança de T.I são planejadas.

() As soluções de segurança de T.I já foram parcialmente implementadas.

() As soluções segurança de T.I foram implementadas de forma abrangente com planos desenvolvidos para preencher quaisquer lacunas.

() As soluções de segurança de T.I foram implementadas para todas as áreas relevantes e são revisadas com frequência para garantir a conformidade.

DIMENSÃO DE ESTRATÉGIA E ORGANIZAÇÃO

16. Grau de implementação da estratégia

() A indústria 4.0 é reconhecida a nível departamental, mas não está integrada na estratégia.

() A indústria 4.0 está incluída na estratégia de negócios.

() A estratégia da indústria 4.0 foi comunicada ao negócio e é amplamente entendida.

() A estratégia da indústria 4.0 foi implementada em toda a empresa.

17. Medição

() Os KPI's não estão focados na Indústria 4.0.

() Existe um conjunto estruturado de métricas de negócios, com algumas medidas focadas em Indústria 4.0.

() As métricas da indústria 4.0 são amplamente compreendidas nos negócios e usadas em relatórios mensais.

() Métricas de negócios e planos de desenvolvimento pessoal estão focados nos objetivos da Indústria 4.0.

18. Investimentos

- () Existem investimentos iniciais em Indústria 4.0 em uma área de negócio.
- () Existem investimentos em Indústria 4.0 em áreas mais avançadas do negócio.
- () Existem investimentos em Indústria 4.0 em diversas áreas do negócio.
- () Existem investimentos em Indústria 4.0 em todo o negócio.

19. Capacidade das pessoas

- () Os funcionários têm pouca ou nenhuma experiência com tecnologias digitais.
- () Áreas focadas em tecnologia do negócio têm funcionários com algumas habilidades digitais.
- () Desenvolvimento digital e capacidade de análise de dados estão presentes na maior parte das áreas do negócio, por exemplo, na produção.
- () Habilidades digitais e analíticas de ponta em toda a empresa.

20. Colaboração

- () O negócio opera de forma departamentalizada.
- () Existe uma interação limitada entre departamentos, por exemplo, processo de S&OP.
- () Departamentos estão abertos para cruzar a colaboração funcional.
- () Departamentos estão abertos para cruzar a colaboração da empresa para impulsionar melhorias.

21. Liderança

- () A equipe de liderança não reconhece o valor dos investimentos da Indústria 4.0.
- () A equipe de liderança está investigando possíveis benefícios da Indústria 4.0.
- () A equipe de liderança reconhece os benefícios financeiros a serem obtidos através da Indústria 4.0 e está desenvolvendo planos para investir.
- () Apoio generalizado à Indústria 4.0, tanto na equipe de liderança quanto em toda a empresa.

22. Finanças

- () Nenhum investimento considerável em Indústria 4.0.
- () Nenhuma revisão contínua da análise de custo / benefício para o investimento da Indústria 4.0.
- () Análise anual de custo / benefício do investimento da Indústria 4.0.
- () Análise trimestral de custo / benefício do investimento da Indústria 4.0.

DIMENSÃO DE CADEIA DE SUPRIMENTOS

23. Controle de inventário usando gerenciamento de dados em tempo real

- () Os níveis de estoque são entendidos.
- () Banco de dados no computador é usado, e é atualizado manualmente com os níveis de estoque.
- () Banco de dados do computador usado com dispositivos inteligentes atualizando os níveis de estoque.
- () Banco de dados em tempo real que é atualizado por dispositivos inteligentes.

24. Integração da cadeia de suprimentos

- () Comunicação reativa específica (*Ad hoc*) com clientes e fornecedores.
- () Comunicação básica e compartilhamento de dados quando requisitado pelos clientes e fornecedores.
- () Transferência de dados entre fornecedores/cliente (por exemplo, níveis de inventário para o cliente).
- () Sistemas integrados com fornecedores/clientes para os processos apropriados, por exemplo, planejamento integrado em tempo real.

25. Visibilidade da cadeia de suprimentos

- () Sem integração com fornecedores ou clientes.
- () Local, capacidade, inventário e operações são visíveis entre a primeira camada de fornecedores e clientes.
- () Local, capacidade, inventário, e operações são visíveis para a cadeia de suprimentos.

() Local, capacidade, inventário, e operações são visíveis em tempo real para a cadeia de valor e usados para monitoramento e otimização.

26. Flexibilidade da cadeia de suprimentos

() Respostas lentas as alterações do mercado.

() Resposta moderada às mudanças do mercado e mudanças gerais nos requisitos do cliente.

() Resposta moderada a mudanças no ambiente de mercado e requisitos individuais do cliente.

() Resposta imediata a mudanças no ambiente de mercado e requisitos individuais do cliente.

27. Tempo de espera

() Tempo de espera de materiais longos resultando em altos níveis de estoque.

() Melhorias foram identificadas para reduzir o tempo de espera de alguns materiais.

() Algumas melhorias foram implementadas para reduzir o lead time dos principais materiais.

() Políticas de lotação diferenciadas e tempo de espera para atender eficientemente a ordem de produção.

DIMENSÃO DE MODELO DE NEGÓCIO

28. Modelo “*as a service*”

() Sem consciência.

() Consciente do conceito com alguns planos iniciais de desenvolvimento.

() Planos de alta conscientização e implementação estão em desenvolvimento.

() “*As a service*” foi implementado e está sendo oferecido ao cliente.

29. Decisões baseadas em dados

() Os dados não são amplamente analisados.

() Alguns dados são analisados e existem recursos nos principais relatórios de negócios para analisar o desempenho.

() A maioria dos dados é analisada e o resultado é considerado ao tomar decisões de negócios.

() Todos os dados relevantes são analisados e informam as decisões de negócios.

30. Rastreamento em tempo real

() Rastreamento limitado de produtos.

() O produto pode ser rastreado à medida que se move entre os locais de fabricação e de distribuição interna.

() O produto pode ser rastreado através da fabricação e distribuição até chegar ao centro de distribuição dos clientes.

() O produto pode ser rastreado ao longo do ciclo de vida completo.

31. Agendamento automatizado em tempo real

() O equipamento é mantido manualmente de acordo com o cronograma de manutenção.

() Algumas máquinas alertam os operadores sobre um problema de desempenho que permite agendar manualmente uma tarefa de manutenção.

() Algumas máquinas são autodiagnósticas, passando automaticamente informações para o sistema de agendamento de manutenção.

() As máquinas, geralmente, são autodiagnósticas e o cronograma de manutenção se ajusta com base nas entradas de dados em tempo real da máquina.

32. Canais de *marketing* integrados.

() A presença *on-line* é separada dos canais *off-line*.

() Integração dentro dos canais *online* e *offline*, mas não entre eles.

() Canais integrados e abordagem individualizada ao cliente.

() Gerenciamento integrado de experiência do cliente em todos os canais.

33. Apoio da T.I no negócio

() Processo empresarial principal suportado por sistemas de T.I.

() Algumas áreas do negócio são suportadas por sistemas de T.I e sistemas integrados.

() Suporte de T.I completo dos processos, mas não totalmente integrado.

- () Os sistemas de TI suportam todos os processos da empresa e são integrados.

DIMENSÃO DE CONSIDERAÇÕES LEGAIS

34. Modelos de contratação

- () Os processos de contratação são lineares e inalterados.
- () Algumas mudanças nos processos de contratação para refletir as mudanças operacionais.
- () Alguns projetos 'emblemáticos' utilizam novos modelos de contratação, mas não é padrão em todos os setores.
- () Toda contratação é comportamental e incentiva todas as partes a alcançar o melhor resultado.

35. Risco

- () Novos riscos não identificados ou avaliados.
- () Novos riscos identificados e / ou avaliados, mas sem mitigações planejadas.
- () Novos riscos identificados e avaliados e mitigações limitadas implementadas.
- () O grupo de trabalho avaliou a mudança do perfil de risco e tem procedimentos em vigor para mitigar.

36. Proteção de dados

- () Nenhuma política ou procedimento de proteção de dados.
- () Possui políticas internas, mas não garante conformidade no engajamento com fornecedores / clientes.
- () Bom entendimento com políticas e procedimentos robustos, mas não atualizados para o Regulamento Geral de Proteção de Dados.
- () Conduziu uma recente auditoria do Regulamento Geral de Proteção de Dados e está confiante na conformidade, inclusive à luz da Indústria 4.0.

37. Propriedade intelectual

- () A propriedade intelectual em novos produtos e serviços não é identificada nem protegida.

() Consciência da propriedade intelectual em novos produtos e serviços, mas nenhuma proteção legal identificada ou aplicada.

() A propriedade intelectual em produtos e serviços é identificada e, em parte, é feita uma avaliação sobre se os registros / direitos contratuais requeridos e, se necessário, as medidas apropriadas tomadas.

() A propriedade intelectual em produtos e serviços é identificada e as avaliações são feitas para averiguar se são necessários registros / direitos contratuais e, se necessário, medidas apropriadas tomadas.